

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Посвящается 55 летию
уральской школы люминесценции,
детекторов материалов и устройств

ДЕТЕКТОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА

ПАТЕНТНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Справочник
Выпуск 2

Научный редактор
профессор В.С. Кортон

Екатеринбург
УрФУ
2015

УДК 535.37.631.039

ББК 22.379.34

Д 28

*Б. В. Шульгин, Л. В. Викторов, В. Ю. Иванов, В. Л. Петров,
А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, В. А. Семенкин*

Д 28 Детекторные материалы и устройства. Патентные разработки: справочник. Выпуск 2 /составители: *Б. В. Шульгин, Л. В. Викторов, В. Ю. Иванов [и др.]*. Под ред. проф. *В. С. Кортова*,. Екатеринбург: УрФУ, 2015. **668 с.**

ISBN 978-5-8295-0357-4

В справочнике приведены описания патентов на изобретения и полезные модели в области радиационных технологий, детекторных материалов и устройств, разработанных в основном на кафедре экспериментальной физики (ЭФ) ФТИ УрФУ. Новыми в дополнение к первому изданию 2007 года являются сведения о разработках, выполненных за последние годы. Соавторы патентов – преподаватели, сотрудники, аспиранты и студенты кафедры ЭФ, а также сотрудники других кафедр физико-технологического института УрФУ и других организаций, в том числе зарубежных университетов и фирм (Кыргызстан, Франция, Япония), в содружестве с которыми эти разработки были выполнены. Патентообладателем абсолютного большинства приведенных патентов является УрФУ. Приведены также сведения о патентах по мессбауэровским спектрометрам (патентообладатель – Институт аналитического приборостроения РАН, С.-Петербург), разработанных в содружестве с сотрудниками кафедры ЭФ.

Справочник может быть использован студентами, обучающимися по направлениям «Ядерная физика и технологии», в качестве справочного дополнительного материала по курсам «Детекторы излучения», «Методы и средства обнаружения делящихся материалов», «Спектрометрия». «История отрасли», «Организация научных исследований»,

Подготовлено кафедрой экспериментальной физики ФТИ при поддержке Центра интеллектуальной собственности и Института инноватики и маркетинга УрФУ.

Посвящается 55-летию уральской школы люминисценции, детекторных материалов и устройств, 45-летию Центра ядерного приборостроения, 35-летию Центра многомерной мессбауэровской спектрометрии Уральского федерального университета.

**УДК 535.37.631.039
ББК 22.379.34**

ISBN 978-5-8295-0357-4

© Уральский федеральный
университет, 2012, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА	10
ПЕРЕЧЕНЬ АВТОРСКИХ СВИДЕТЕЛЬСТВ СССР	55
ПЕРЕЧЕНЬ ПАТЕНТНЫХ ДОКУМЕНТОВ РФ	86
ОПИСАНИЯ ПАТЕНТНЫХ ДОКУМЕНТОВ РФ	97
ПАТЕНТ № 2061275 РФ. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ИОННЫМ ПУЧКОМ / Г. Д. ВЕДЬМАНОВ, Е. А. КОВАЛЬСКИЙ, К. О. ХОХЛОВ. Заявл. 25.02.1992; опубл. 27.05.1996.	97
ПАТЕНТ № 2065614 РФ. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ СЦИНТИЛЛЯТОР ЛИЯ-1 / Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Б. В. Шульгин, Г. А. Китаев, Л. Ф. Гаврилов, С. И. Бузмакова. Заявл. 31.05.1994; опубл. 20.08.1996. Бюл. № 23.	101
ПАТЕНТ № 2066464 РФ. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ СЦИНТИЛЛЯТОР ЛИЯ-2 / Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Б. В. Шульгин, Г. А. Китаев, Л. Ф. Гаврилов, Л. В. Виктор. Заявл. 31.05.1994; опубл. 10.09.1996. Бюл. № 25.	104
ПАТЕНТ № 2081950 РФ. СПОСОБ ОКРАШИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ ПРИРОДНОГО БЕРИЛЛА И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ / А. В. Кружалов, Т. И. Полупанова, Б. В. Шульгин, А. Ф. Ласковенков. Заявл. 17.03.1995; опубл. 20.06.1997. Бюл. № 17.	108
ПАТЕНТ № 2085967 РФ. СТАБИЛИЗАТОР БАЗОВОЙ ЛИНИИ СПЕКТРОМЕТРА / О. В. Игнатьев, С. В. Дудин, А. Д. Пулин. Заявл. 31.03.1995; опубл. 27.07.1997. Бюл. № 21.	111
ПАТЕНТ № 2088952 РФ. ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ / Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, С. И. Горкунова, В. Л. Петров, И. А. Садовенко. Заявл. 23.02.1995; опубл. 27.08.1997. Бюл. № 24.	117
ПАТЕНТ № 2092872 РФ. ПРОЦЕССОР СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ / О. В. Игнатьев, С. В. Дудин, А. Д. Пулин. Заявл. 09.11.1995; опубл. 10.10.1997. Бюл. № 28.	120
ПАТЕНТ № 2094823 РФ. НЕОРГАНИЧЕСКИЙ СЦИНТИЛЛЯТОР / Б. В. Шульгин, В. И. Соломонов, С. Г. Михайлов, В. В. Осипов, В. Л. Петров, Д. Б. Шульгин. Заявл. 23.02.1995; опубл. 27.10.1997. Бюл. № 30.	130
ПАТЕНТ № 2098842 РФ. УСТРОЙСТВО ТАЙМИРОВАНИЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ / О. В. Игнатьев, С. В. Дудин, А. Д. Пулин. Заявл. 22.12.1995; опубл. 10.12.1997. Бюл. № 34.	133
ПАТЕНТ № 2107279 РФ. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ ЯДЕРНЫХ МЕМБРАН / Ю. Г. Лазарев, Ф. Г. Нешов, Б. В. Шульгин, А. В. Кружалов, В. И. Радченко. Заявл. 17.07.1996; опубл. 20.03.1998. Бюл. № 8.	139
ПАТЕНТ № 2129318 РФ. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПУЧКА ИОНОВ / Г. Д. ВЕДЬМАНОВ, И. Р. МУХАМЕТДИНОВ, К. О. ХОХЛОВ. Заявл. 19.02.1997; опубл. 20.04.1999.	142
ПАЕНТ №. 2140660 РФ. СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ СЛАБЫХ ПОТОКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ / Л. В. Виктор, А. В. Кружалов, А. С. Шеин, Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин. Заявл. 10.02.1998; опубл. 27.10.1999. Бюл. № 30.	146
ПАТЕНТ № 2142147 РФ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР / Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. И. Коссе, Е. Г. Ситников. Заявл. 24.09.1997; опубл. 27.11.1999. Бюл. № 33.	152
ПАТЕНТ № 2143711 РФ. ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, В. С. Андреев, О. В. Игнатьев, В. Л. Петров, Ю. Г. Лазарев, Д. Б. Шульгин. Заявл. 06.04.1999; опубл. 27.12.1999. Бюл. № 36.	155
ПАТЕНТ № 2148837 РФ. НЕОРГАНИЧЕСКИЙ СЦИНТИЛЛЯТОР / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, М. М. Кидибаев, К. ШАРШЕЕВ, М. К. САТЫБАЛДИЕВА. Заявл. 19.04.1999; опубл. 10.05.2000. Бюл. № 13.	160
ПАТЕНТ № 2154290 РФ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ СВЕТОВОД / Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Б. В. Шульгин, Ю. Н. МАКУРИН. Заявл. 11.05.1999; опубл. 10.08.2000. Бюл. № 22.	163

ПАТЕНТ № 2158011 РФ Детектор для регистрации нейтронов и гамма-излучения / Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, Д. Б. Шульгин, Е. Г. Ситников, Д. В. Райков, Ф. Г. Плаксин. Заявл. 04.06.1998; опубл. 20.01.2000. Бюл. № 29.....	166
ПАТЕНТ № 2189057 РФ Сцинтилляционный детектор нейтронного и гамма-излучения / О. В. Игнатьев, Б. В. Шульгин, А. Д. Пулин, В. С. Андреев, Л. В. Викторов, В. Л. Петров, Д. В. Райков. Заявл. 13.11.2000; опубл. 10.09.2002. Бюл. № 25.....	170
ПАТЕНТ № 2190240 РФ Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, Т. С. Королева, В. Л. Петров, Д. В. Райков, Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Д. Б. Шульгин. Заявл. 13.11.2000; опубл. 27.09.2002. Бюл. № 27.....	178
ПАТЕНТ № 2199607 РФ. Способ обработки циркониевых сплавов / А. В. Матвеев, Т. А. Белых, В. И. Перехожев, Л. П. Синельников, А. В. Кружалов, Ф. Г. Нешов, А. Г. Трифанов. Заявл. 07.07.2000; опубл. 27.02.2003.	183
ПАТЕНТ № 2231809 РФ Детектор нейтронного и гамма-излучений / О. В. Игнатьев, Б. В. Шульгин, А. Д. Пулин, В. Л. Петров, Д. Б. Шульгин, Д. В. Райков, А. А. Пулин. Заявл. 01.07.2002; опубл. 27.06.2004. Бюл. № 18.....	190
ПАТЕНТ № 2242024 РФ Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений / Л. В. Викторов, К. В. Ивановских, Ю. Г. Лазарев, В. Л. Петров, А. С. Шейн, Б. В. Шульгин. Заявл. 30.06.2003; опубл. 10.12.2004. Бюл. № 34.....	195
ПАТЕНТ № 2242025 РФ Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, В. Л. Петров, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 11.09.2003; опубл. 10.12.2004. Бюл. № 34.....	203
ПАТЕНТ № 2243573 РФ Способ изготовления сцинтилляционных экранов для визуализации рентгеновского излучения / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Ф. Г. Нешов, Ю. А. Ушаков, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 23.07.2003; опубл. 27.12.2004. Бюл. № 36.....	206
ПАТЕНТ № 2244320 РФ. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, Д. В. Райков, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева. Заявл. 30.06.2003; опубл. 10.01.2005. Бюл. № 1.....	212
ПАТЕНТ № 2248011 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор рентгеновского излучения / Б. В. Шульгин, Л. В. Жукова, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов. Заявл. 07.07.2003; опубл. 10.03.2005. Бюл. № 7.....	217
ПАТЕНТ № 2248588 РФ. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, А. И. Коссе, В. И. Соломонов, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 25.04.2003; опубл. 20.03.2005. Бюл. № 8.....	222
ПАТЕНТ № 2251124 РФ. Спектрометрический датчик электронного и бета-излучения / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, Т. С. Королева. Заявл. 14.10.2003; опубл. 27.03.2005. Бюл. № 12.....	227
ПАТЕНТ № 2259573 РФ. Сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, В. И. Арбузов, К. В. Ивановских, Л. В. Викторов, А. Н. Черепанов, В. С. Андреев, В. Л. Петров, А. В. Кружалов, В. В. Соколкин. Заявл. 23.03.2004; опубл. 27.08.2005. Бюл. № 24.....	231
ПАТЕНТ № 2261459 РФ. Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, Т. С. Королева, С. PEDRINI, С. DUJARDIN. Заявл. 29.01.2004; опубл. 27.09.2005. Бюл. № 27..	237
ПАТЕНТ № 2262722 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, С. PEDRINI, В. HAUTEFEUILLE, O. TILLEMENT, K. LEVBOU, J.-M. FOURMIGUE. Заявл. 29.01.2004; опубл. 20.10.2005. Бюл. № 29.....	240
ПАТЕНТ № 2264634 РФ. Шихта для получения термолюминофора / Б. В. Шульгин, Т. С. Королева, А. Н. Черепанов, М. М. Кидибаев. Заявл. 23.03.2004; опубл. 20.11.2005. Бюл. № 32.....	243
ПАТЕНТ № 2269802 РФ. Способ изготовления инфракрасного светофильтра / В. Ю. Иванов, Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, Е. Г. Голиков, А. В. Кружалов, Ф. Г. Нешов, В. Л. Петров. Заявл. 28.07.2004; опубл. 10.02.2006. Бюл. № 4.....	249

ПАТЕНТ № 2270462 РФ. ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, В. Ю. Иванов, А. И. Слесарев, А. В. Анипко, Б. К. Джолдошов, С. Pedrini, V. Hautefeuille, J.-M. Fourmigue. Заявл. 28.07.2004; опубл. 20.02.2006. Бюл. № 5.....	254
ПАТЕНТ № 2270463 РФ. СЦИНТИЛЛЯТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, С. В. Маркс, В. Л. Петров. Заявл. 16.11.2004; опубл. 20.02.2006. Бюл. № 5.259	
ПАЕНТ №. 2272301 РФ. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ / Д. В. Райков, Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, А. В. Кружалов, А. Н. Черепанов, В. Л. Петров, П. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 16.11.2004; опубл. 20.03.2006. Бюл. № 8.....	265
ПАТЕНТ № 2276387 РФ. СЦИНТИЛЛЯТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ / К. В. Ивановских, В. Ю. Иванов, В. Л. Петров, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 30.12.2004; опубл. 10.05.2006. Бюл. № 13.....	270
ПАТЕНТ № 2277234 РФ. РАДИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ВУФ-ДИАПАЗОНА / К. В. Ивановских, Б. В. Шульгин, В. А. Пустоваров, В. Л. Петров, А. Н. Черепанов, П. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 21.03.2005; опубл. 27.05.2006. Бюл. № 15.....	275
ПАТЕНТ № 2282212 РФ. РАБОЧЕЕ ВЕЩЕСТВО ДЛЯ ТЕРМОЭКЗОЭЛЕКТРОННОЙ ДОЗИМЕТРИИ ГАММА- И ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ / А. И. Слесарев, Б. В. Шульгин, Ю. Д. Афонин, А. В. Сергеев, А. В. Анипко, Д. А. Бекетов, А. Н. Черепанов. Заявл. 04.05.2005; опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.....	279
ПАТЕНТ № 2282214 РФ. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, В. Ю. Иванов, Ф. Г. Нешов, П. И. Буйлин, Е. Г. Голиков, Б. К. Джолдошов, С. Pedrini, K. Levbou. Заявл. 04.05.2005; опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.....	283
ПАТЕНТ № 2284044 РФ. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ СЦИНТИЛЛЯТОР ЛИЯ-3 / Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин, В. В. Жуков, С. И. Горкунова, Д. В. Райков, А. И. Чазов, А. В. Сергеев. Заявл. 13.05.2005; опубл. 20.09.2006. Бюл. № 26.....	289
ПАТЕНТ № 2297015 РФ. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР / Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, А. И. Коссе, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, А. А. Чудиновских. Заявл. 08.02.2006; опубл. 10.04.2007. Бюл. №10.....	293
ПАТЕНТ № 2297648 РФ. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СЦИНТИЛЛИРУЮЩЕГО СОСТАВА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРИНО / Б. В. Шульгин, Г. С. Денисов, Е. В. Вараксина, В. Ю. Иванов, А. В. Ищенко, Т. С. Королева, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов. Заявл. 26.12.2005; опубл. 20.04.2007. Бюл. №11.....	298
ПАТЕНТ № 2300782 РФ. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ / В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, А. В. Кружалов, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 08.08.2005; опубл. 10.06.2007. Бюл. №16.....	304
ПАТЕНТ № 2303276 РФ. СПОСОБ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ ОКСИДА БЕРИЛЛИЯ / А. В. Кружалов, С. В. Горбунов, В. Ю. Иванов, И. И. Мильман, И. Н. Огородников, Д. С. Таусенев, Б. В. Шульгин. Заявл. 06.05.2006; опубл. 20.07.2007. Бюл. №20.....	310
ПАТЕНТ № 2303278 РФ. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, А. В. Ищенко, Д. В. Райков, С. Б. Смирнов, В. Л. Петров. Заявл. 25.04.2006; опубл. 20.07.2007. Бюл. №20.....	314
ПАТЕНТ № 2303798 РФ. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР / Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, А. В. Анипко, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, J.-M. Fourmigue, C. Pedrini, K. Levbou, C. Du Jardin. Заявл. 10.10.2005; опубл. 27.07.2007. Бюл. №21.....	319
ПАТЕНТ № 2308056 РФ. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, С. В. Маркс, А. В. Анипко, С. Б. Смирнов, Н. С. Мезенина. Заявл. 09.03.2006; опубл. 10.10.2007. Бюл. №28.....	323
ПАТЕНТ № 2309457 РФ. МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЙ СЕТИ / К. Н. Шевченко, Н. В. Шевченко, Б. В. Шульгин. Заявл. 06.05.2006; опубл. 27.10.2007. Бюл. №30.....	327

ПАТЕНТ № 2312061 РФ. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НИТЕВИДНОГО НИТРИДА АЛЮМИНИЯ / Ю. Д. Афонин, А. Р. Бекетов, А. В. Аниппо, В. Б. Малков, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 25.04.2006; опубл. 10.12.2007. Бюл. №34.....	331
ПАТЕНТ № 2315231 РФ. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО СВЕТОФИЛЬТРА / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, А. В. Аниппо, Д. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 22.06.2006; опубл. 20.01.2008. Бюл. №2.334	
ПАТЕНТ №. 2323453 РФ. СВЕТОВОЛОКОННЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, К. О. Хохлов, В. Ю. Иванов, А. В. Кружалов, В. Л. Петров, В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, К. Педрини, Ж.-М. Фурмиге. Заявл. 03.11.2006; опубл. 27.04.2008. Бюл. №12.....	339
ПАТЕНТ №. 2331086 РФ. РАБОЧЕЕ ВЕЩЕСТВО ДЛЯ ТЕРМОЭКЗОЭЛЕКТРОННОЙ ДОЗИМЕТРИИ / А. И. Слесарев, В. Ю. Иванов, А. В. Ищенко, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, А. В. Чепкасова, М. Кобаяши. Заявл. 09.04.2007; опубл. 10.08.2008. Бюл. №22.....	344
ПАТЕНТ № 2334998 РФ. СПОСОБ КОМБИНИРОВАННОГО СЧИТЫВАНИЯ НАКОПЛЕННОЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ОКСИДА БЕРИЛЛИЯ / И. И. Мильман, А. В. Кружалов, В. Ю. Иванов, Д. С. Таусенев. Заявл. 02.04.2007; опубл. 27.09.2008. Бюл. № 27.....	349
ПАТЕНТ № 2336294 РФ. СЛОЖНЫЙ ВАНАДАТ СЕРЕБРА В КАЧЕСТВЕ ЛЮМИНОФОРА В КРАСНОЙ И БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СВЕЧЕНИЯ И СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ / В.Г.Зубков, А. П. Тютюнник, Л. Л. Сурат, Б. В. Слободин, Н. В. Таракина, Б. В. Шульгин, А. В. Ищенко. Заявл. 20.07.2006; опубл. 20.10.2008. Бюл. №29.....	354
ПАТЕНТ № 2345274 РФ. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХДИТЕЛЬНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ ЛЮМИНОФОРОВ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ВЕО И $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$ / А. В. Кружалов, В. Ю. Иванов, И. И. Мильман, Д. В. Райков, Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, И. В. Харитонов. Заявл. 10.05.2007, опубл. 27.01.2009. Бюл. №3.....	358
ПАТЕНТ № 2347241 РФ. ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ / Б. В. Шульгин, А. И. Коссе, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, Г. П. Малиновский. Заявл. от 26.11.2007; опубл. 20.02.2009. Бюл. №5.....	364
ПАТЕНТ № 2347741 РФ. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ ФТОРИДА ЛИТИЯ ИЛИ ФТОРИДА НАТРИЯ / А. Н. Черепанов, Е. Г. Голиков, В. Ю. Иванов, А. В. Кружалов, Ф. Г. Нешов, В. Л. Петров, Б. В. Шульгин, Ю. Ю. Упорова, М. М. Кидибаев, В. Г. Пушин, Н. В. Николаева, В. Б. Малков. Заявл. от 27.08.2007; опубл. 27.02.2009 Бюл. № 6.....	370
ПАТЕНТ № 2348923 РФ. СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНОЙ ФРАКЦИИ КРИСТАЛЛОВ ФТОРИДА НАТРИЯ НА ПОДЛОЖКЕ / Б. В. Шульгин, Р. М. Кадушников, А. Н. Черепанов, Ю. Ю. Упорова, А. В. Ищенко, В. Б. Малков. Заявл. от 21.11.2007; опубл. 10.03.2009. Бюл. №7.....	378
ПАТЕНТ № 2348976 РФ. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ / А. Н. Черепанов, К. Н. Шевченко, Н. В. Шевченко. Заявл. 08.02.2007; опубл. 10.03.2009. Бюл. №7.....	388
ПАТЕНТ № 2357273 РФ. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, И. И. Мильман, А. В. Кружалов, Ю. Ю. Упорова, А. В. Ищенко, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 11.02.2008; опубл. 27.05.2009. Бюл. №15.....	396
ПАТЕНТ № 2357385 РФ. ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОКА АНОДА И НАПРЯЖЕНИЯ НА АНОДЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ / К. О. Хохлов, Ю. И. Матяш. Заявл. 04.02.2008; опубл. 27.05.2009. Бюл. № 15.....	402
ПАТЕНТ № 2361239 РФ. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ / Л. В. Жукова, А. Н. Черепанов, Н. В. Примеров, А. С. Корсаков, Б. В. Шульгин, А. И. Чазов, В. В. Жуков. Заявл. 07.04.2008; опубл. 10.07.2009. Бюл. №19.....	405
ПАТЕНТ № 2364614 РФ. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ НАНОСТРУКТУРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ / В. С. Кортков, А. Ф. Зацепин, С. В. Звонарев, В. В. Иванов, А. С. Кайгородов, В. Р. Хрустов. Заявл. 25.06.2008, опубл. 20.08.2009 Бюл. № 23.....	409
ПАТ. 2370788 РФ. НЕОРГАНИЧЕСКИЙ СЦИНТИЛЛЯТОР / М. М. Кидибаев, К. Шаршеев, У. К. Мамытбеков, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 02.06.2008; опубл. 20.10.2009. Бюл. №29.....	415

ПАТ. 2372641 РФ. Высоковольтный стабилизатор постоянного напряжения / К. О. Хохлов, А. А. Чудиновских. Заявл. 04.02.2008; опубл. 10.11.2009. Бюл. № 31.	420
Пат. 2386112 РФ. Способ измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы / А. Н. Черепанов, А. А. Шолина, Б. В. Шульгин, А. В. Кружалов, Г. Я. Бучок, Р. М. Кадушников, Е. А. Макарова. Заявл. 26.02.2008; опубл. 10.04.2010. Бюл. №10.	423
ПАТЕНТ № 2392642 РФ. Способ увеличения быстродействия спектрометров ионизирующих излучений с полупроводниковыми и другими детекторами без внутреннего усиления / О. В. Игнатьев. Заявл. 20.04.2009; опубл. 20.06.2010. Бюл. № 17.	431
ПАТЕНТ № 2397196 РФ. Способ получения композиционного керамического материала (варианты) / В. В. Иванов, А. С. Кайгородов, Ю. А. Котов, В. Р. Хрустов, В. С. Кортков, А. Ф. Зацепин, В. А. Пустоваров, С. В. Звонарев. Заявл. 09.04.2008, опубл. 20.10.2009. Бюл. № 23.	449
ПАТЕНТ № 2399928 РФ. Способ возбуждения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции детекторов ионизирующих излучений на основе оксида алюминия / И. И. Мильман, А. В. Кружалов, Е. Н. Литовченко, Е. В. Моисейкин, И. Г. Ревков, С. В. Соловьев, А. И. Сюрдо. Заявл. 23.03.2009; опубл. 20.09.2010. Бюл. № 26.	473
ПАТЕНТ № 2400774 РФ. Фотоприемное устройство / Ю. Н. Новоселов, А. Н. Черепанов, С. О. Чолах, Б. В. Шульгин. ПАТЕНТООБЛАДАТЕЛЬ ФИАН. Заявл. 12.08.2009; опубл. 27.09.2010. Бюл. №27.	484
ПАТЕНТ № 2412453 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов / П. С. Маклаков, Б. В. Шульгин, С. В. Кортков, А. Н. Черепанов, В. В. Пиличев, А. Ю. Дерстуганов, А. В. Семенова. Заявл. 02.04.2009; опубл. 20.02.2011. Бюл. № 5.	487
ПАЕНТ № 2423333 РФ. Способ обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия / Э. З. Курмаев, Н. В. Гаврилов, Б. В. Шульгин, Д. А. Зацепин, А. И. Кухаренко, С. О. Чолах. Заявл. 18.05.2009, опубл. 10.07.2011. Бюл. №19.	492
ПАТЕНТ № 2427857 РФ. Способ определения профиля поглощенной дозы электронного излучения / Ф. Г. Нешов, И. О. Ананьев, Ю. Ю. Упорова, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, М. М. Кидибаев. Заявл. 20.04.2009, опубл. 27.08.2011. Бюл. №24.	497
ПАТЕНТ.№ 2435173 РФ. Способ контроля делящихся материалов / А. С. Шеин, Л. В. Викторов, А. Ю. Кузнецов, Ю. Н. Новоселов, Б. В. Шульгин, И. В. Глазачев, Ю. С. Калугина, С. О. Чолах. Заявл. 05.02.2010; опубл. 27.11.2011. Бюл. № 33.	504
ПАТЕНТ № 2441256 РФ. Сцинтилляционный детектор электронного и бета-излучения / А. Н. Черепанов, Ю. И. Чернухин, В. А. Терехин, Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, И. А. Гофман, А. А. Лещев, О. С. Тесленко. Заявл. 29.04.2010; опубл. 27.01.2012.	510
ПАТЕНТ. №. 2445646 РФ. Рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, И. И. Мильман, А. В. Кружалов, Ю. Ю. Упорова, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 11.06.2008, опубл. 20.03.2012. Бюл. № 35.	514
Свидетельство 1756 РФ на полезную модель. Волоконно-оптический трековый детектор / Л. Ф. Гаврилов, Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин, Г. А. Китаев, В. В. Жуков, Л. В. Викторов. Заявл. 31.05.1994, опубл. 16.02.1996. Бюл. №2.	519
ПАТЕНТ № 98823 РФ на полезную модель. Мобильный комплекс радиационного контроля / А. С. Шеин, Л. В. Викторов, В. Л. Петров, Б. В. Шульгин. Заявл. 09.03.2010, опубл. 27.10.2010. Бюл. №30.	520
ПАТЕНТ № 98826 РФ на полезную модель. Сцинтилляционный детектор / А. В. Ищенко, Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, А. Н. Черепанов, В. И. Арбузов, В. Ю. Иванов, А. Ю. Дерстуганов. Заявл. 30.03.2010, опубл. 27.10.2010. Бюл. №30.	526
ПАТЕНТ.№ 100271 РФ на полезную модель. Устройство для обнаружения взрывчатых веществ / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов, В. Г. Гребняк, Ю. И. Чернухин, В. А. Терехин. Заявл. 30.06.2010, опубл. 10.12.2010. Бюл. №34.	529

ПАТЕНТ.№ 100294 РФ на полезную модель. Детектор нейтронов / Б. В. Шульгин, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов, А. Н. Черепанов, В. Г. Гребняк, В. В. Соколкин, А. В. Ищенко, В. М. Гадельшин. Заявл. 09.08.2010, опубл. 10.12.2010. Бюл. №34.	534
ПАТЕНТ. №. 100296 РФ на полезную модель. Базовый спектро-радиометрический модуль для мобильных комплексов радиационного контроля/ М. Н. Благовещенский, А. Ю. Дерстуганов, Б. В. Шульгин, О. Н. Шутов. Заявл. 23.04.2010, опубл. 10.12.2010. Бюл. № 34.	539
ПАТ. 101772 РФ на полезную модель. Трубчатая светодиодная лампа / Е. В. Моисейкин, К. О. Хохлов, М. Л. Черный. Заявл. 09.02.2010; опубл. 27.01.2011. Бюл. № 3.	547
ПАТЕНТ №. 101929 РФ на полезную модель. Магнитотерапевтическая установка / А. П. Волобуев, П. В. Волобуев, С. Ф. Конев, Е. В. Усков, Б. В. Шульгин. Заявл. 26.07.2010, опубл. 10.02.2011. Бюл. № 11.	549
ПАТЕНТ. №. 102143 РФ на полезную модель. Единичная светодиодная лампа / Е. В. Моисейкин, К. О. Хохлов, М. Л. Черный. Заявл. 27.05.2010; опубл. 10.02.2011. Бюл. № 4.	554
ПАТЕНТ № 105474 РФ на полезную модель. Детектор для регистрации ионизирующих излучений / Б. В. Шульгин, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов, А. Н. Черепанов, В. Г. Гребняк, А. В. Ищенко, Л. В. Викторов, В. Л. Петров, В. В. Соколкин, Е. М. Голубкин, О. С. Тесленко. Заявл. 14.12.2010; опубл. 10.06.2011. Бюл. № 16.	558
ЗАЯВКА 96107590/25 РФ. Детектор быстрых нейтронов и гамма-лучей / Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, Л. В. Викторов, С. И. Горкунова, А. Л. Крымов, А. В. Кружалов, В. Л. Петров. Заявл. 18.04.1996, опубл. 27.07.1998.	564
ПАТЕНТ № 2411280 РФ. Способ получения двуслойного волоконного сцинтиллятора / Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин, А. С. Корсаков, В. В. Жуков. Заявл. 08.04.2008, опубл. 10.02.2011. Бюл. № 4.	568
ЗАЯВКА 2009112116 РФ. Способ анализа спектров люминесценции / А. С. Таланов, С. В. Кортков, А. Н. Черепанов, В. В. Пиличев, А. В. Ищенко, А. В. Семенова. Заявл. 02.04.2009; опубл. 10.10.2010. Бюл. № 28.	569
ЗАЯВКА 2009113053 РФ. Волоконный детектор / В. В. Бастриков, Н. С. Бастрикова, А. Н. Черепанов, В. В. Пиличев, А. В. Семенова. Заявл. 09.04.2009; опубл. 20.10.2010. Бюл. № 29.	574
ЗАЯВКА 2009115049 РФ. Регулируемый стабилизатор постоянного напряжения / К. О. Хохлов, А. В. Балин. Заявл. 20.04.2009; опубл. 27.10.2010. Бюл. № 30.	577
ЗАЯВКА 2009131118 РФ. Наноразмерное анионо-дефектное вещество на основе оксида алюминия для люминесцентного дозиметра ионизирующих излучений / В. С. Кортков, Ю. А. Котов, А. И. Слесарев, А. И. Медведев. Заявл. 14.08.2009.	580
ЗАЯВКА 2009139563 РФ. Дорожный знак / М. С. Попыванова, С. В. Кортков, Б. В. Шульгин, С. О. Чолах, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, А. В. Семенова. Заявл. 26.10.2009.	581
ЗАЯВКА 2010104301 РФ. Устройство мониторинга электронного оборудования / Н. Е. Порывай, Г. К. Хохлов, К. О. Хохлов. Заявл. 08.02.2010.	585
ЗАЯВКА 2010107507 РФ. Сцинтилляционный детектор для регистрации тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, А. В. Хохлов, В. С. Шевандин, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, И. И. Мильман. Заявл. 01.03.2010.	588
ПАТЕНТ № 2468060 РФ. Двойной К-Na сульфат в качестве рабочего вещества термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения и способ его получения / М. М. Кидибаев, К. Шаршеев, У. К. Мамытбеков, Г. С. Денисов, И. И. Мильман, Б. В. Шульгин, Д. Г. Лисиенко. Заявл. 26.04.2010. Опубл. 27.11.2012. Бюл № 33.	593
ПАТЕНТ № 2449316 РФ. Рабочее вещество для термозкзоэлектронной дозиметрии / А.И. Слесарев, Б. В. Шульгин, А. Ю. Дерстуганов, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов. Заявл. 04.06.2010. Опубл. 27.04.2012. Бюл. № 34.	601
ЗАЯВКА 2010123257 РФ. Зонд для сканирующей микроскопии / М. А. Мельников, С. В. Кортков, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, И. А. Гофман. Заявл. 07.06.2010.	605

ЗАЯВКА 2010123259 РФ. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ ВОДЫ / А. В. СТИХАЧ, С. В. КОРТОВ, В. В. ПИЛИЧЕВ, А. Н. ЧЕРЕПАНОВ, А. А. ЛЕЩЕВ, С. В. ЗВОНАРЕВ. Заявл. 07.06.2010.....	608
ЗАЯВКА 2010123261 РФ. ОХРАННАЯ СИСТЕМА / И. С. МАКЛАКОВ, С. В. КОРТОВ, В. В. ПИЛИЧЕВ, А. Н. ЧЕРЕПАНОВ, Е. В. ПОПКОВА, Н. Г. ЛАРИНА, Н. С. КНЯЗЕВ. Заявл. 07.06.2010.....	610
ЗАЯВКА 2010123270 РФ. ТЕПЛООБМЕННИК / Я. А. ШТЕЙНБЕРГ, С. В. ХРАМЦОВ, С. В. КОРТОВ, В. В. ПИЛИЧЕВ, А. Н. ЧЕРЕПАНОВ. Заявл. 07.06.2010.....	614
ЗАЯВКА 2010123272 РФ. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ / А. А. ЯМАЛТДИНОВ, С. В. КОРТОВ, В. В. ПИЛИЧЕВ, М. Е. ПИЛИЧЕВА, А. Н. ЧЕРЕПАНОВ, А. А. РУСАКОВ, И. С. ОТРАДНОВ. Заявл. 07.06.2010.	617
ЗАЯВКА 2010133473 РФ. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР НЕЙТРОНОВ / Ю. И. ЧЕРНУХИН, В. А. ТЕРЕХИН, Б. В. ШУЛЬГИН, А. Н. ЧЕРЕПАНОВ, В. Ю. ИВАНОВ, М. Н. БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ, В. И. АРЕБУЗОВ, К. В. ДУКЕЛЬСКИЙ.....	620
Заявл. 09.08.2010. Дата публикации заявки 20.02.2012.	620
ПАТЕНТ № 2 456 638 РФ. СПОСОБ ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ / А. С. ШЕИН, Л. В. ВИКТОРОВ, Г. А. КУНЦЕВИЧ, В. Л. ПЕТРОВ, Б. В. ШУЛЬГИН. Заявл. 29.03.2011. Опубл. 20.07.2012.....	625
Бюл. № 20.....	625

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Есть высшая смелость — смелость изобретения, создания, где план обширный объемлется творческой мыслью.

А.С. Пушкин

Страна без бюро патентов и без твердых законов, защищающих права изобретателей, подобна раку, который может двигаться только вбок или назад.

Марк Твен

«Янки при дворе короля Артура»

Относительно новый для России термин «Интеллектуальная собственность» уверенно входит в обиход не только университетских ученых, но и студентов. Для будущих и настоящих менеджеров, предпринимателей, бизнесменов интеллектуальная собственность становится важнейшим инструментом повышения конкурентоспособности продукции, залогом успешных продаж и собственно предметом продаж. Интеллектуальная собственность является одним из важнейших факторов государственного регулирования экономики, одним из рычагов государственной поддержки инновационных планов и научно-технических разработок.

Согласно принятой в Уральском федеральном университете концепции «инновационной инженерии», выпускник технического университета должен уметь не только создавать новые знания и технологии, но и обеспечивать их правовую охрану и коммерциализацию. Одним из шагов в подготовке этой относительно новой для вузов, но очень важной компетенции является активное вовлечение студентов и аспирантов в изобретательскую деятельность.

В справочнике представлены сведения о патентах, авторами которых являются преподаватели, сотрудники и студенты кафедры экспериментальной физики (ЭФ) физико-технологического института УрФУ и сотрудники других кафедр УрФУ и других организаций.

Поскольку основной профиль подготовки специалистов на кафедре экспериментальной физики был и остается связанным с электронными приборами (ядерной электроникой, ядерной медициной и приборами неразрушающего контроля), с радиационной безопасностью, системами дозиметрического радиозоэкологического контроля, методами и средствами обнаружения делящихся материалов, то и тематика изобретений отвечает именно этому профилю..

Хотя кафедра ЭФ была организована в 1951 году, первое изобретение (новый люминофор-сцинтиллятор) было сделано только 15 лет спустя. Речь идет об авторском свидетельстве СССР № 238058 с приоритетом от 11.10.1966 (авторы аспирант *Б. В. Шульгин*, *Ф. Ф. Гаврилов* и *В. Г. Чухланцев*,). Начиная с 1966 года за последующие 48 лет кафедрой ЭФ было представлено более 250 изобретений. Отметим, что почти четверть из них сделана совместно со студентами. Это высокий показатель научно-технического творчества студентов одного из крупнейших подразделений вуза, коим является кафедра ЭФ. В историческом плане представляется важным привести номера всех изобретений (А. с. СССР и патентов), соавторами которых являются студенты (с указанием года приоритета):

<i>Емельченко Геннадий</i>	А. с. 320520 СССР	(1970)
	А. с. 403317 СССР	(1970)
<i>Слесарев Анатолий</i>	А. с. 363288 СССР	(1971)
<i>Ульянов Владимир</i>	А. с. 370563 СССР	(1971)
<i>Кочерга Юрий</i>	А. с. 396644 СССР	(1971)
<i>Шорилов Олег</i>	А. с. 436609 СССР	(1971)
<i>Репин Георгий</i>	А. с. 453912 СССР	(1973)
<i>Школа Николай</i>	А. с. 488496 СССР	(1974)
<i>Королев Евгений</i>	А. с. 541136 СССР	(1975)
<i>Ковязин Юрий</i>	А. с. 625178 СССР	(1977)
<i>Пустоваров Владимир</i>	А. с. 641794 СССР	(1977)
<i>Гаврилин Александр</i>	А. с. 671520 СССР	(1977)
<i>Гаврилов Константин</i>	А. с. 743407 СССР	(1978)
<i>Евстигнеев Владимир</i>	А. с. 753046 СССР	(1979)
<i>Портнягин Анатолий</i>	А. с. 769945 СССР	(1979)
<i>Ершов Владимир</i>	А. с. 828642 СССР	(1979)
<i>Гороженя Александр</i>	А. с. 853973 СССР	(1980)
<i>Волков Андрей</i>	А. с. 1064776 СССР	(1982)
<i>Аккузин Сергей</i>	А. с. 1090140 СССР	(1982)
<i>Куц Михаил</i>	А. с. 1317995 СССР	(1984)
<i>Просоленко Игорь</i>	А. с. 1380465 СССР	(1986)
<i>Кулесский Александр</i>	А. с. 1382207 СССР	(1986)
	А. с. 1517573 СССР	(1987)

<i>Бузмакова Светлана</i>	А. с. 1482254 СССР	(1987)
<i>Садовенко Илья</i>	Пат. 2088952 РФ	(1995)
<i>Ситников Евгений</i>	Пат. 2142147 РФ	(1997)
	Пат. 2158011 РФ	(1998)
<i>Райков Дмитрий</i>	Пат. 2142147 РФ	(1997)
	Пат. 2158011 РФ	(1998)
	Пат. 2143711 РФ	(1999)
	Пат. 2148837 РФ	(1999)
<i>Плаксин Федор</i>	Пат. 2158011 РФ	(1999)
<i>Ищенко Алексей</i>	Пат. 2272301 РФ	(2004)
	Пат. 2277234 РФ	(2005)
	Пат. 2297648 РФ	(2007)
<i>Райков Павел</i>	Пат. 2272301 РФ	(2004)
	Пат. 2277234 РФ	(2005)
	Пат. 2297015 РФ	(2007)
<i>Маркс Станислав</i>	Пат. 2270463 РФ	(2005)
	Пат. 2308056 РФ	(2008)
<i>Анипко Алла</i>	Пат. 2270462 РФ	(2005)
	Пат. 2282212 РФ	(2005)
	Пат. 2303798 РФ	(2007)
	Пат. 2308056 РФ	(2007)
	Пат. 2312061 РФ	(2007)
<i>Сергеев Александр</i>	Пат. 2282212 РФ	(2005)
	Пат. 2284044 РФ	(2005)
<i>Чудиновских Андрей</i>	Пат. 2297015 РФ	(2007)
<i>Вараксина Евгения</i>	Пат. 2297648 РФ	(2007)
<i>Таусенев Дмитрий</i>	Пат. 2303276 РФ	(2007)
	Пат. 2334998 РФ	(2008)
<i>Смирнов Станислав</i>	Пат. 2303276 РФ	(2007)
	Пат. 2308056 РФ	(2007)
<i>Мезенина Надежда</i>	Пат. 2308056 РФ	(2007)
<i>Шевченко Кирилл</i>	Пат. 2309457 РФ	(2007)
	Пат. 2348976 РФ	(2009)
<i>Малиновский Георгий</i>	Пат. 2347241 РФ	(2009)
<i>Упорова Юлия</i>	Пат. 2347741 РФ	(2009)
	Пат. 2357273 РФ	(2009)
	Пат. 2427857 РФ	(2011)
	Пат. 2445646 РФ	(2012)
<i>Шолина Алиса</i>	Пат. 2386112 РФ	(2010)
<i>Макарова Евгения</i>	Пат. 2386112 РФ	(2010)
<i>Ананьев Илья</i>	Пат. 2427857 РФ	(2011)
<i>Глазачев Иван</i>	Пат. 2435173 РФ	(2011)
	Пат. 111661 РФ	(2012)
<i>Калугина Юлия</i>	Пат. 2435173 РФ	(2011)
<i>Гофман Илья</i>	Пат. 2441256 РФ	(2012)
<i>Лещев Андрей</i>	Пат. 2441256 РФ	(2012)
<i>Тесленко Ольга</i>	Пат. 2441256 РФ	(2012)

	Пат. 105474 РФ	(2012)
<i>Гадельшин Вадим</i>	Пат. 100294 РФ	(2010)
	Пат. 112449 РФ	(2012)
	Пат. 113024 РФ	(2012)
	Пат. 119129 РФ	(2012)
	Пат. 121377 РФ	(2012)
	Пат. 2500461 РФ	(2013)
<i>Больных Вячеслав</i>	Пат. 121377 РФ	(2012)

Нашими партнерами по исследованию и созданию новых детекторных материалов и устройств был целый ряд кафедр УГТУ–УПИ: кафедра физических методов и приборов контроля качества (главный партнер), кафедра редких металлов и наноматериалов, кафедра радиохимии, кафедра органической химии, кафедра физической и коллоидной химии, кафедра промышленной теплоэнергетики. В совместных разработках принимали участие также ученые ряда академических институтов и предприятий России: Физический институт РАН (Москва), Институт общей физики РАН (Москва), Институт кристаллографии РАН (Москва) – имеется даже изобретение совместное с нобелевским лауреатом академиком *А. М. Прохоровым* (А. с. 1259831 СССР (1985)), Институт общей и неорганической химии РАН (Москва), Институт аналитического приборостроения (С.-Петербург), Институт физики твердого тела РАН (Черноголовка), ВНИИ геофизических исследований (Уфа), ВНИЦ «Государственный оптический институт им. *С. И. Вавилова*» (С.-Петербург), Научно-исследовательский и технологический институт оптического материаловедения (НИТИОМ) ВНИЦ «ГОИ им. *С. И. Вавилова*», Ангарский электролизный химический комбинат; Пышминский опытный завод «Гиредмет» (ныне «Редмет»), Красноярский завод цветных металлов, Научно-исследовательский институт химических технологий (Москва), Институт химии твердого тела УрО РАН, Институт электрофизики УрО РАН, Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Институт органического синтеза УрО РАН, Институт физики металлов УрО РАН, Институт геохимии и геологии УрО РАН (Екатеринбург), Институт промышленной экологии УрО РАН (Екатеринбург), Томский политехнический университет, Российский федеральный ядерный центр ВНИИТФ (Снежинск), Институт реакторных материалов, Уральский государственный университет, - до объединения в УрФУ (Екатеринбург), Челябинский государствен-

ный университет, Малышевское рудоуправление, Институт атомной энергии им. *И. В. Курчатова* (Москва), Московский государственный университет им. *М. В. Ломоносова*, Научно-исследовательский институт ядерной физики (НИИЯФ) Московского государственного университета им. *М. В. Ломоносова* (Москва), Объединенный институт ядерных исследований (Дубна), Институт неорганической химии и Институт ядерной физики СО РАН (Новосибирск), Институт геохимии СО РАН (Иркутск), Технологический институт (С.-Петербург), Кубанский государственный университет (Краснодар), ВНИИ Проектасбест (Асбест), НПО «Системотехника» (Н-Новгород), Институт испытания металлов (Н-Тагил), Московский энергетический институт, Институт тонкой химической технологии им. *Д. И. Менделеева* (Москва), МосНПО «Радон» (Москва), Харьковский институт монокристаллов.

Известны десятки зарубежных научных центров, также занимающихся разработкой новых детекторных материалов и устройств, что указывает на актуальность данного научного направления кафедры:

США

1. Laurence Livermore Laboratory, University of California.
2. University of Virginia, Nuclear Engineering Engineering Physics Department.
3. Brookhaven National Lab., Upton. N.Y.
4. Lawrence Berkley Lab., CA.
5. Princeton Univ. N.Y.
6. Argonne National Lab. IL.
7. Univ. of Pennsylvania. Philadelphia.
8. Univ. of Wisconsin, Madison.
9. Univ. of Delaware.
10. Princeton Univ. N.Y. Dept. of Physics.
11. Univ of Southern California, Marina Del. Rey. Inst. For Physics and Imaging Science.
12. Stanford Univ. CA.

16. Lockheed Missiles and Space Co., Palo Alto, CA. Lockheed Palo Alto Research Lab.
17. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. N.Y.
18. National Aeronautics and Space Administration Greenbelt. MD.
19. Goddard Space Flight Center Bell Labs., Murrey Hill, N.Y.
20. Sandia National Labs, Albuquerque. N.M.
21. Princeton Gamma-Tech, Inc.
22. EG and G, Inc., Goleta, CA, Santa Barbara Div.
23. Colorado Univ., Boulder., Nucl. Phys. Lab.
24. Massachusetts Inst. of Tech., Cambridge, Dept of Phys., Center for Space Research.
25. Stanford Linear Acceleration

31. New Mexico Univ. Albuquerque. N.M.
32. Univ. of Florida.
33. Purdue Univ. Lafayette, IN.
34. Univ of Pittsburg PA.
35. Jons Hopkins Univ. Baltimore, MD.
36. Canberra.
37. EG&G Ortec.

Франция

38. Centre D'Etudes Nucleaires de grenoble DRF /Physique du solide.
39. Grenoble-1 Univ., Lab de Physique des Particules.
40. Institut de Physique Nucleaire, Villeurbanne
41. CEA Centre d'Etudes Nucleaires de Cadarache, 13-Sain Paul-les-Durance.
42. CRISMATEC, BP521, Nemours, Cedex
43. Lion-1 University
44. FIBERCRYST

13. Univ. of Michigan, Ann Arbor.
14. Fermi National Accelerator Lab. Batavia. IL.
15. IBM Watson Research Center, Yorktown Heights, N.Y.

47. Univ. of Hamburg.
48. Siegen Univ. Abt. Fur Physik.
49. Bonn Univ.

Япония

50. Japan Atomic Energy Research Inst. Tokyo. Radioisotope-Nuclear Reactor Scholl.
51. Jikei University.
52. KEK Lab.
53. National Lab. for High Energy Physics. Tsukuba, Ibaraki, Japan.
54. Kyoto Univ.
55. Osaka Univ., Toyonaka, Research Center for Nuclear Physics.
56. Hiroshima Univ., Dept of Phys.
57. Nagoya Univ. Dept of Nuclear Engineering
58. Rikkyo Univ. Dept of Phys.
59. Electrotechnical Lab., Tsukuba, Ibaraki.
60. Tsukuba Univ., Sakura, Ibaraki. Inst of Phys.
61. Hitachi Chemical Co. Ltd. Ibaraki.

Англия

62. Oxford Instruments.
63. London Univ.

- tor Center, CA.
26. California Inst. of Tech., Pasadena.
27. Hawaii Univ. Honolulu.
28. California Univ., Irvine.
29. Cleveland State Univ. OH.
30. Iowa Univ. Iowa City.

64. National Physical Lab., Teddington (UK)
65. Queen Mary Coll. London.
66. University Coll. London. Mullard Space Science Lab.
67. Durham Univ., Dept. of Physics.
68. Warwick Univ., Coventry. Dept. of Engineering.
69. Harwell

Индия

70. Bhabha Atomic Research Centre, Bombay (India). Calcutta.
71. Guru Nanak Dev Univ. Amritsar, Dept. Of Phys.

Швейцария

72. Bern Univ., Lausanne Univ.
73. Eigenoessliche Technische Hochschule. Zurich.
74. CERN. Geneva.

Австрия

75. Oesterreichische Akademie der Wissenschaften, Vienna, Institut fuer Hochenergiephysik.
76. Queensland Inst of Tech., Brisbane.

Германия

45. II Institut für Experimentalphysik der Universität Hamburg.
46. Max-Planck-Institut fuer Physik and Astrophysik. Muenchen.

Нидерланды

77. Amsterdam University.
78. Delft University.
79. SCIONIX

Греция

80. Democritos Nuclear Research Center, Athens.
81. Athens Univ.

Италия

82. Comitato Nazionale per L'Energia Nucleare, Casaccia. Centri di Studi Nucleari.
83. Bicocca Univ., Milano

Израиль

84. Hebrew Univ. Jerusalem.

Саудовская Аравия

85. King Abdul-Aziz Univ. Jeddah (Saudi Arabia) Physics Dept.

Канада

86. McGill Univ., Montreal, Quebec.
87. Chalk River Nuclear Labs. Ontario.

Китай

88. Academia Sinica Beijing. China.
89. Shanghai Institute of Ceramics, Shanghai

Ряд совместных исследований и публикаций по детекторным материалам выполнен в содружестве с зарубежными учеными из Даремского (Англия) университета (*Кен Тейлор, Ричард Хант, Алан Хоакси*), Алабамского и Мемфисского университетов и Лос-Аламосской национальной лаборатории США (*Честер Александер, Вайн Кук*), Университета штата Нью-Мехико США (*Давид Вульф, Стив Брюек*), Mission Support Inc. Poto-devices Devision, (*Ж. В. Сципп*), Факультета физики и астрономии Brigham Young University (*М. Беррондо*), Института физики НАН Эстонии (*Марко Кирм*), Фраунгоферовского института неразрушающего контроля (*Михаэль Кренинг, Тило Баумбах, Отто Хирш*). На уровне патентов выполнены разработки с учеными Лионского университета Франции (*Кристиан Педрини, Оливье Тиллемон, Кристоф Дюжарден, Бенуа Отефей, Киреддин Леббу*), фирмы FIBERCRYST (*Жан-Мари Формиге*), Университета города Курукшестра, Индия (*Д. Вий*), а также Института физики НАН Кыргызской республики (*Аскарбек Алыбаков, Мустафа Кидибаев*).

Значительная часть изобретений, выполненных на кафедре ЭФ до 90-х годов, была связана с разработкой новых детекторных материалов и способов их получения. Инициатором работ был профессор *Ф. Ф. Гаврилов* (1917–1997). В дальнейшем при участии *Ф. Ф. Гаврилова* работами руководили профессора *Б. В. Шульгин* (с 1967 года) и *А. В. Кружалов* (с 1977 года). Краткий перечень изобретений по этой тематике, сделанных в «допатентный» период, приведен ниже с указанием номеров авторских свидетельств и года приоритета.

Признаны изобретениями заявки и выданы авторские свидетельства СССР на следующие детекторные материалы:

Гидрид и дейтерид лития

Состав LiH:Bi,Mg	А. с. 318302 СССР	(1971)
Состав LiH:CeF ₃	А. с. 430736 СССР	(1974)
Состав ⁶ LiH: ⁷ LiH:Eu,Gd,CeF ₃	А. с. 743407 СССР	(1980)
Состав Li(H,D):Mg	А. с. 826765 СССР	(1981)
Состав LiH и LiD	А. с. 1075756 СССР	(1983)
Состав LiD	А. с. 1317995 СССР	(1987)

Фториды и оксифториды

Состав YOF:Tb	А. с. 577804 СССР	(1977)
Состав SrF ₂ :CeF ₃ :EuF ₃ (CdF ₃ ,DyF ₃ ,TbF ₃)	А. с. 738453 СССР	(1980)
Состав LiF:UO ₂ (NO ₃) ₂	А. с. 1304584 СССР	(1986)

Силикаты

Состав Na ₂ ZrSiO ₅ :Ln	А. с. 238058 СССР	(1968)
Состав Na ₂ HfSiO ₅ :Ln	А. с. 238058 СССР	(1968)

Состав $\text{Ba}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9\text{:Ln}$	A. c. 245252 СССР	(1969)
Состав $\text{Ba}_2\text{HfSi}_3\text{O}_9\text{:Ln}$	A. c. 245252 СССР	(1969)
Состав $\text{Ba}_2\text{Zr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{:Ln}$	A. c. 320520 СССР	(1971)
Состав $\text{Ba}_2\text{Hf}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{:Ln}$	A. c. 320520 СССР	(1971)
Состав $\text{Ba}_2\text{Zr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{:Ln}$	A. c. 353578 СССР	(1972)
Состав $\text{Ba}_2\text{Hf}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{:Ln}$	A. c. 353578 СССР	(1972)
Состав $\text{ZrSiO}_4\text{:Ln}$	A. c. 403317 СССР	(1973)
Состав $\text{ZrSiO}_4\text{:Ln}$	A. c. 436609 СССР	(1974)
Состав $\text{Ca}_3\text{ZrSi}_2\text{O}_9\text{:La, Ti, Pb}$	A. c. 488496 СССР	(1975)
Состав $\text{Na}_{14}\text{ZrSi}_{10}\text{O}_{31}\text{:Ln}$	A. c. 490355 СССР	(1975)
Состав $\text{Na}_{14}\text{HfSi}_{10}\text{O}_{31}\text{:Ln}$	A. c. 490355 СССР	(1975)
Состав $\text{Na}_4\text{Zr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{:Ti}$	A. c. 664366 СССР	(1979)
Состав $\text{Na}_2\text{ZrSiO}_5\text{:Eu, Sm}$	A. c. 671502 СССР	(1979)
Состав $\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Na}_2\text{O}$	A. c. 722417 СССР	(1979)
Состав $\text{Sc}_2\text{SiO}_5\text{:Gd}$	A. c. 1382207 СССР	(1987)
Состав $\text{Y}_2\text{SiO}_5\text{:Ce, Tb}$	A. c. 1517573 СССР	(1989)
<i>Алюминаты</i>		
Состав $\text{BeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$	A. c. 785824 СССР	(1980)
Состав $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Ni, Cu}$	A. c. 900706 СССР	(1981)
Состав $\text{Y}_2\text{O}_3\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Pr}_2\text{O}_3$	A. c. 1059882 СССР	(1983)
Состав LiAlO_2	A. c. 1136627 СССР	(1984)
Состав $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	A. c. 1259831 СССР	(1986)
Состав CaAl_4O_7	A. c. 1289224 СССР	(1986)
Состав $\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19}$	A. c. 1322830 СССР	(1987)
<i>Оксиды и оксидные кристаллы</i>		
Состав керамика $\text{BeO}\text{:Eu}^*$	A. c. 417061 СССР	(1973)
Состав EuTiNbO_6	A. c. 321893 СССР	(1971)
Состав $\text{Y}_{0,5}\text{Eu}_{0,5}\text{TiNbO}_6$	A. c. 323429 СССР	(1971)
Состав CsCaVO_4	A. c. 403315 СССР	(1973)
Состав EuTiTaO_6	A. c. 403316 СССР	(1973)
Состав $\text{Zn}_3\text{Mo}_2\text{O}_9\text{:Ln}$	A. c. 439215 СССР	(1974)
Состав $\text{BeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$	A. c. 702857 СССР	(1979)
Состав $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2$	A. c. 723470 СССР	(1979)
Состав $\text{ZnO}\text{:Li}$	A. c. 809972 СССР	(1980)
Состав $\text{La}_2\text{Be}_2\text{O}_5\text{:Ce}$	A. c. 921328 СССР	(1981)
Состав Y_2O_3	A. c. 1064776 СССР	(1982)
Состав Sc_2O_3	A. c. 1090140 СССР	(1984)
Состав $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$	A. c. 1106281 СССР	(1984)
Состав $\text{La}_2\text{Be}_2\text{O}_5$	A. c. 1132609 СССР	(1984)
Состав YPO_4	A. c. 1172252 СССР	(1985)
Состав $\text{PbMo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_4$	A. c. 1304585 СССР	(1986)
Состав $\text{Sr}_3\text{Y}_{1-x}\text{Gd}_x(\text{PO}_4)_3$	A. c. 1380465 СССР	(1987)
Состав $\text{NaF}\cdot\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2\cdot\text{CuF}_2$	A. c. 1382206 СССР	(1987)
Состав (термообработка) $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	A. c. 1482254 СССР	(1989)
Состав (термообработка) $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	A. c. 1582850 СССР	(1990)
Состав $\text{BeO}\cdot\text{ZnO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{Na}_2\text{WO}_4$	A. c. 1668377 СССР	(1991)

Состав $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}:\text{Li}$ <i>Стекла</i>	А. с. 1745779 СССР	(1992)
Состав $\text{SiO}_2\cdot\text{ZrO}_2\cdot\text{Na}_2\text{O}:\text{Ln}$	А. с. 336290 СССР	(1972)
Состав $\text{SiO}_2\cdot\text{BeO}\cdot\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Eu}_2\text{O}_3$	А. с. 436032 СССР	(1974)
Состав $\text{SiO}_2\cdot\text{BeO}\cdot\text{CaF}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Eu}_2\text{O}_3$	А. с. 453912 СССР	(1974)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Ce}_2\text{O}_3\cdot\text{Y}_2\text{O}_3$	А. с. 769945 СССР	(1980)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{BeO}\cdot\text{BaO}\cdot\text{Gd}_2\text{O}_3$	А. с. 828642 СССР	(1981)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Y}_2\text{O}_3\cdot\text{Ce}_2\text{O}_3$	А. с. 833653 СССР	(1981)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{Cs}_2\text{O}\cdot\text{Y}_2\text{O}_3\cdot\text{Ce}_2\text{O}_3$	А. с. 833653 СССР	(1981)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{Ce}_2\text{O}_3\cdot\text{R}_2\text{O}\cdot\text{R}_2\text{O}_3$	А. с. 860432 СССР	(1981)
Состав $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Tb}_2\text{O}_3$ <i>Керамика</i>	А. с. 1005405 СССР	(1982)
Состав (керамика) ZnO	А. с. 1088501 СССР	(1983)
Состав (керамика) Sc_2O_3	А. с. 1119464 СССР	(1984)

*Первые разработки детекторов на основе оксида бериллия (керамика BeO : Eu и стекла) выполнены Б.В.Шульгиным совместно с И.А.Дмитриевым, А.Ф.Зацепиным, В.С.Кортовым и А.И.Гаприндашвили в 1972-1973 учебном году (а.с. СССР № 417061). Позже с 1977 года к бериллиевой тематике подключился А.В.Кружалов.

Рекордный для своего времени быстрый тяжелый сцинтиллятор на основе $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ (изготовлен в лаборатории П. П. Феофилова, ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова) был впервые описан в совместной с ГОИ работе Шульгина Б. В., Петрова В.Л. и др. / УПИ. Свердловск, 1990. Деп. ВИНТИ, № 3570.. Эта работа с указанием приоритета УГТУ–УПИ была включена в обзор национальной лаборатории США Lawrence Berkeley Laboratory (*Derenzo S. E., Moses W. W. // Proc of «CRYSTAL 2000» Int. Workshop. 2000. P. 125–135.*).

Разработки носили фундаментально-прикладной характер. По проведенным исследованиям были защищены десятки диссертаций. Это показано на примере научной группы Б.В. Шульгина.

Аспиранты и соискатели из научной группы Б.В.Шульгина уральской школы люминесценции профессора Ф.Ф.Гаврилова, защитившие кандидатские диссертации за период 1971-1991 годы:

	Диссертант	Год защиты	Научный руководитель(и) (консультант), указанные в автореферате
1	Шаляпин А.Л.	1971	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
2	Кордюков Н.И.	1972	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин

3	Слепухин В.К.	1972	Е.И.Крылов, (Б.В.Шульгин)
4	Ходос М.Я.	1972	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
5	Федоровских Ю.А.	1973	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
6	Петров В.Л.	1973/78	Ф.Ф.Гаврилов, (В.Г.Бамбуров, Б.В.Шульгин)
7	Зацепин А.Ф*.	1974	И.А.Дмитриев, (Б.В.Шульгин)
8	Кружалов А.В.	1974	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
9	Рогович В.И.	1974	Е.И.Крылов, Б.В.Шульгин
10	Галактионов А.Д.	1975	А.А.Фотиев, Б.В.Шульгин
11	Кара-Ушанов В.Ю.	1975	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
12	Антонов А.В.	1975	Б.В.Шульгин
13	Терентьев Г.И.	1976	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
14	Клюкин В.Э.	1976	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
15	Булатов Ю.П.	1978	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
16	Ривкина К.К.	1978	В.Г.Бамбуров, Б.В.Шульгин
17	Полупанова Т.И.	1979	Академик Н.В.Белов, (Б.В.Шульгин)
18	Лобач В.А.	1980	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
19	Палванов В.П.	1980	Ф.Ф.Гаврилов, Б.В.Шульгин
20	Василенко М.В.	1980	Ф.Ф.Гаврилов, (А.В.Кружалов, Б.В.Шульгин)
21	Старцев В.С.	1981	Ф.Ф.Гаврилов, (А.Ф.Зацепин, Б.В.Шульгин)
22	Арбузов В.Я.	1981	Б.В.Шульгин, (А.А.Пузанов)
23	Якушев М.В.	1981	Б.В.Шульгин

24	Соболев А.Б.	1982	Б.В.Шульгин
25	Кузнецов А.Н.	1982	Б.В.Шульгин (соискатель из Челябинска)
26	Викторов Л.В.	1982	Б.В.Шульгин, Ф.Ф.Гаврилов
27	Полосухин Б.Г.	1983	Б.Н.Гощицкий, Б.В.Шульгин
28	Саматов М.В.	1983	С.Л.Вотяков, (Б.В.Шульгин)
29	Гиниятулин К.Н.	1983	Б.В.Шульгин, А.В.Кружалов
30	Радченко В.И.	1984	Б.В.Шульгин
31	Тютюник О.И.	1984	Ф.Ф.Гаврилов (Г.И.Пилипенко, Б.В.Шульгин)
32	Алукер Н.Л.	1985	Б.В.Шульгин
33	Кеда О.А.	1985	Б.В.Шульгин, (А.Б.Соболев)
34	Маслаков А.А.	1985	Б.В.Шульгин
35	Штенке Л.Д.	1985	Б.В.Шульгин
36	Горбунов С.В.	1986	Б.В.Шульгин, А.В.Кружалов
37	Заярный В.П.	1986	Б.В.Шульгин
38	Жуков В.М.	1986	Б.В.Шульгин, (С.О.Чолах)
39	Огородников И.Н.	1988	Б.В.Шульгин, (А.В.Кружалов)
40	Жуков А.В.	1988	Б.В.Шульгин
41	Сергеев А.И.	1988	Б.В.Шульгин
42	Безель А.В.	1989	Б.В.Шульгин, В.А.Лобач
43	Иванов В.Ю.	1989	Б.В.Шульгин
44	Обухов В.Т.	1989	Б.В.Шульгин, В.И.Иванов (Москва)

45	Малков В.Б.	1990	Б.В.Шульгин
46	Анцыгин И.Н.	1990	Б.В.Шульгин, А.В.Кружалов
47	Кадушников Р.М.	1990	Б.В.Шульгин, А.Р.Бекетов
48	Кулябин Б.Е.	1990	Б.В.Шульгин, В.А.Лобач
49	Суворов Н.В.	1990	Б.В.Шульгин, С.О.Чолах
50	Бикметов И.Ф.	1991	Б.В.Шульгин, А.Б.Соболев
51	Волков А.Р.	1991	Б.В.Шульгин
52	Кислов А.Н.	1991	Б.В.Шульгин (Мазуренко В.Г.)

*Аспирант А.Ф. Зацепин первым защитил диссертацию в 1974 году по спектроскопии ВеО-содержащих детекторных материалов (стекла и керамика), включая состав ВеО-Eu.

Как видно из приведенной таблицы, за период 1971-1991 гг., то есть за 20 лет, в научной группе Б.В.Шульгина (уральской школы люминесценции профессора Ф.Ф.Гаврилова) 52 аспиранта (соискателя) защитили диссертации. Состоялось от 1 до 5 защит в год. Защитили при поддержке основателя уральской школы люминесценции профессора д.ф.-м.н. Ф.Ф. Гаврилова и ближайших коллег (указаны выше в таблице). Работали вместе. Сведения взяты из монографии А. В. Кружалов, Т. И. Полупанова «А мы еще не старики...». (Кафедра экспериментальной физики, УПИ, 1951-2001 гг.). Екатеринбург, 235 с. Сведения дополнены и уточнены.

Уральская школа люминесценции известна разработками нескольких классов новых детекторных материалов (на уровне изобретений):

- составы на основе гидрида и дейтерида лития,
- материалы на базе оксида и сульфида цинка,
- низкосимметричные оксидные и фторидные системы,
- функциональные материалы на основе анион дефектного корунда.

Последнее направление организовано и успешно развивается профессором В.С. Кортковым (при активном участии на разных этапах И.И. Мильмана, В.В. Мазуренко, А.И. Сюрдо, А.Ф. Зацепина, И.А.Вайнштейна и С.В. Никифорова). В итоге в УрФУ сформирована хо-

рошо известная в мире научная школа «Радиационная физика функциональных материалов».

Первые три направления разработок связаны с именем основателя уральской школы люминесценции, детекторных материалов и устройств, с профессором Ф.Ф.Гавриловым. В работах с гидридом лития на первом этапе преуспели, успешно защитив кандидатские диссертации, Б.Л. Двинянинов, Б.В. Шульгин, Г.И. Пилипенко, С.О. Чолах и В.А. Пустоваров. Направление, связанное с оксидом и сульфидом цинка, успешно развито В.С. Безелем и А.П. Оконечниковым. К исследованиям низкосимметричных оксидов и ряда фторидных систем, активированных редкоземельными элементами, в лаборатории Ф.Ф. Гаврилова первым приступил Б.В.Шульгин, еще в 1964 году, начав эти работы с доцентами В.Г. Чухланцевым и Ю.М. Полежаевым. Позже к работам по оксидно-фторидной тематике активно и весьма успешно подключились профессора А.В. Кружалов, И.Н.Огородников, а с использованием синхротронного излучения В.А. Пустоваров и В.Ю. Иванов.

А.В. Кружалов известен своими исследованиями в области бериллий-содержащих соединений и созданием своей пусть небольшой, но известной ВеО-«экситонной» школы. Как она создавалась? Исторически первые разработки по ВеО-тематике были начаты И.А.Дмитриевым и его аспирантом А.Ф.Зацепиным (научный консультант Б.В. Шульгин) в 1971году. Первый радиационный детектор запоминающего типа на основе керамики ВеО-Еu (по прямому предложению Б.В.Шульгина) был создан в 1973 году (а.с. СССР № 417061) при активной поддержке В.С. Кортова. Аспирантом А.Ф. Зацепиным были также разработаны два сцинтиллирующие бериллий-содержащих стекла (а.с. СССР № 436032 и 453912, все в 1974 году). Весной 1974 года А.Ф.Зацепин защитил по этим разработкам кандидатскую диссертацию. В 1977 году Б.В. Шульгиным к работам по детекторным материалам на основе бериллий-содержащих соединений был приглашен физик А.В.Кружалов (который до этого будучи аспирантом Б.В.Шульгина, занимался исследованиями сложных ванадатов и защитил по ним диссертацию в декабре 1974 года). В итоге А.Ф. Зацепиным, И.А.Дмитриевым, В.С. Старцевым и Б.В.Шульгиным совместно с А.В.Кружаловым в 1977 году было разработано Ве-содержащее стекло для лазеров (а.с. СССР № 598318).

От стекол и керамики желательно было перейти к кристаллическим ВеО-соединениям. Такая возможность появилась в 1976/77 годах после визита Б.В.Шульгина в Новосибирск в Институт геологии и геофизики (ИГиГ) СО АН СССР и после переговоров с его директором А.А. Годови-

ковым. Договорились о сотрудничестве: специалисты ИГиГ СО АН СССР (Г.В.Букин, а также В.Н. Матросов и В.А.Маслов) выращивают ВеО-содержащие кристаллы, а уральцы исследуют их радиационно-оптические свойства. В прямом контакте с этими специалистами должен был работать опытный физик, - им и стал А.В. Кружалов, привлекая направляемых ему наших (Ф.Ф. Гаврилова и Б.В.Шульгина) аспирантов. В 1977-78 годах совместно с сибиряками были разработаны на уровне изобретений запоминающие детекторные составы ВеО: Al_2O_3 (а.с. СССР №№ 643021 и 678954), а также быстрый неорганический сцинтиллятор на основе ВеО: Cr_2O_3 (а.с. СССР № 702857). Активно проводились и фундаментальные исследования. Успешные исследования. Начались защиты диссертаций привлеченных А.В. Кружаловым аспирантов и формироваться его «экситонная» школа.

Разработки кафедры ЭФ области радиационных материалов и детекторных устройств не прошли мимо внимания Министерства обороны Российской Федерации, которое стало финансировать их начиная с 1991 года: темы «Архив», «Пояс», «Подкова» (три темы совместно с Федеральным ядерным центром ВНИИТФ, Снежинск), «Трал», «Прибой», «Маяк», «Аладдин», «Советник СК-АМ», «Советник СК-М1» и «Братеньник» (комплексы «Соратник»). Все эти темы были связаны с разработкой новых детекторных устройств для контактной и дистанционной регистрации источников ионизирующих излучений и с разработкой детектирующих комплексов наземного, морского и вертолетного базирования, предназначенных для контроля делящихся материалов и радиоактивных веществ на гражданских и военных объектах. Ниже указаны номера патентов, связанных с выполнением вышеперечисленных тем:

НИР «Трал», 1993	Пат. 2065614 РФ	Пат. 2066464 РФ
НИР «Маяк», 1996–2000	Пат. 2088952 РФ	Пат. 2094823 РФ
	Пат. 2140660 РФ	Пат. 2142147 РФ
	Пат. 2143711 РФ	Пат. 2148837 РФ
	Пат. 2158011 РФ	
НИР «Аладдин», 1999	Пат. 2140660 РФ	
НИР «Прибой», 2001–2003	Пат. 2154290 РФ	Пат. 2189057 РФ
	Пат. 2190240 РФ	Пат. 2231809 РФ
НИОКР «Братеньник», 1999–2006	Пат. 2242024 РФ	Пат. 2244320 РФ
	Пат. 2248011 РФ	Пат. 2248588 РФ
	Пат. 2251124 РФ	Пат. 2259573 РФ
	Пат. 2262722 РФ	Пат. 2270463 РФ
	Пат. 2272301 РФ	Пат. 2276387 РФ
	Пат. 2284044 РФ	

В результате выполнения тем по заказу МО РФ были разработаны комплексы радиационного контроля, часть из которых уже поставлена на снабжение Министерства обороны и выпускается серийно. Научное руководство по темам осуществлялось со стороны УГТУ–УПИ (руководители *Б. В. Шульгин, В. Л. Петров*). Изготовление комплексов выполнялось на Заводе точной механики, г. Екатеринбург (*М. Н. Благовещенский, А. Ф. Василиади, В. Г. Зуев, Д. И. Кудашов, Ю. Р. Сафин, В. В. Соколкин*). На базе патентов были созданы как сами устройства, так и их алгоритмы управления и программное обеспечение. Особо следует отметить разработанные в УГТУ–УПИ универсальные способы регистрации слабых потоков ионизирующих излучений (пат. 2140660 РФ и пат. 2242024 РФ). Их внедрение позволило снизить минимальный обнаруживаемый сигнал до уровня, близкого к теоретическому пределу.

Фотографии ряда разработок, связанных с изобретениями, приведены на рис. 1–13. На рис. 1 представлена копия диплома (золотая медаль) Всемирной выставки в Брюсселе (2001), выданная разработчикам из УГТУ–УПИ (*Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин* и др.), создавшим уникальный сцинтилляционный световод из кристалловолокон, весьма перспективную разработку XXI века.



Рис. 1. Диплом (слева) Брюссельской выставки (2001 год), полученный за сцинтилляционный световод



Рис. 2. Демонстрация разработок зарубежным гостям:
профессор *Б. В. Шульгин* показывает гамма-спектрометр
(2000 год)



Рис. 3. Мобильный комплекс «Советник СК-АМ»,
вид снаружи

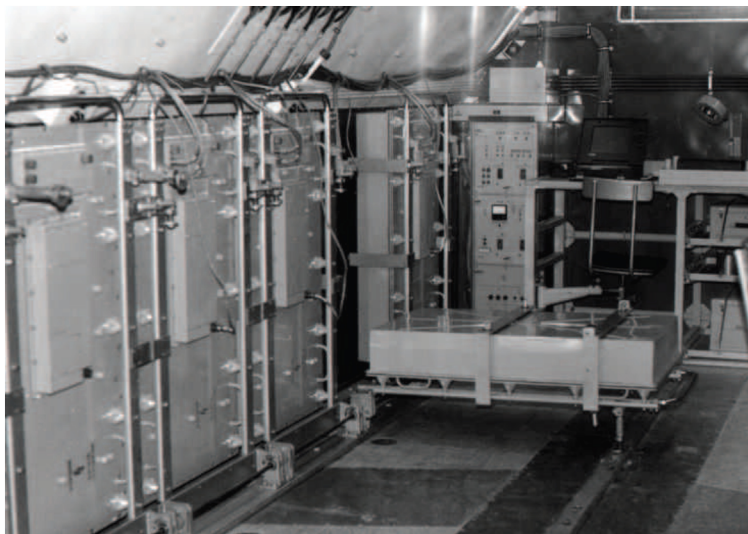


Рис. 4. Мобильный комплекс «Советник СК-АМ»,
вид изнутри

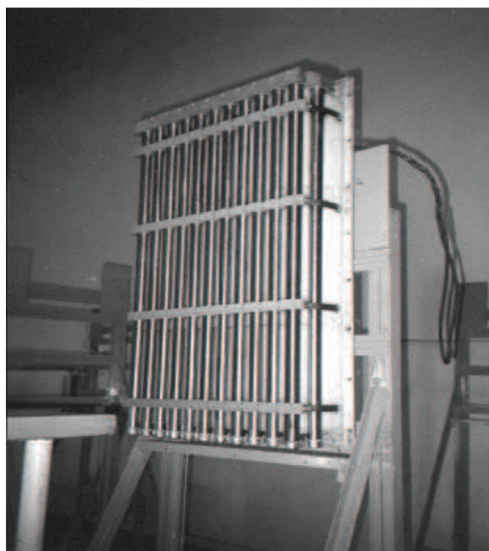


Рис. 5. Детектор нейтронного излучения
на базе газоразрядных трубок с гелием-3

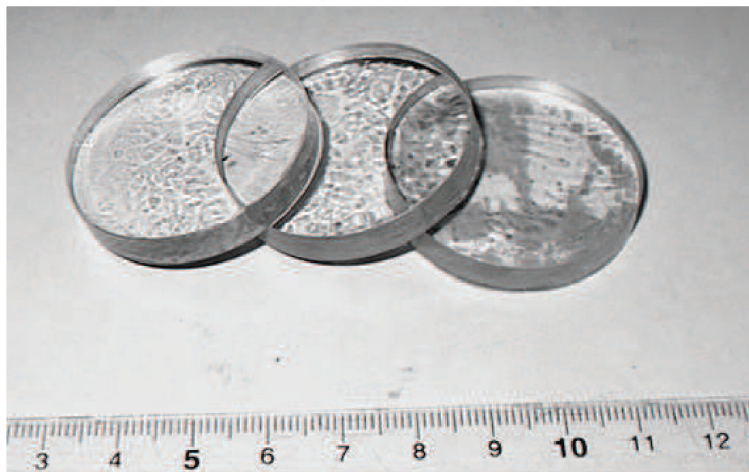


Рис. 6. Литий-6 содержащие силикатные стекла – сенсоры высокочувствительных сцинтилляционных детекторов нейтронов (разработчик *В. А. Арбузов*, НИТИОМ ВНЦ ГОИ им. *С. И. Вавилова*)

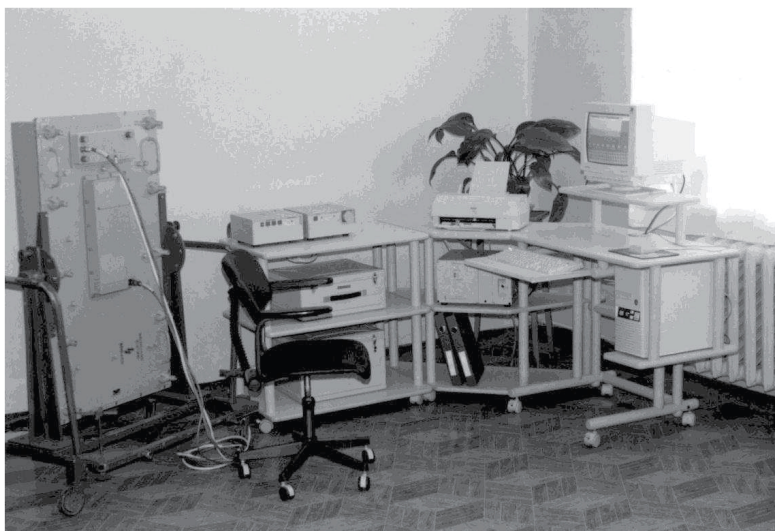


Рис. 7. Лабораторный комплекс «Советник СК-АМ»

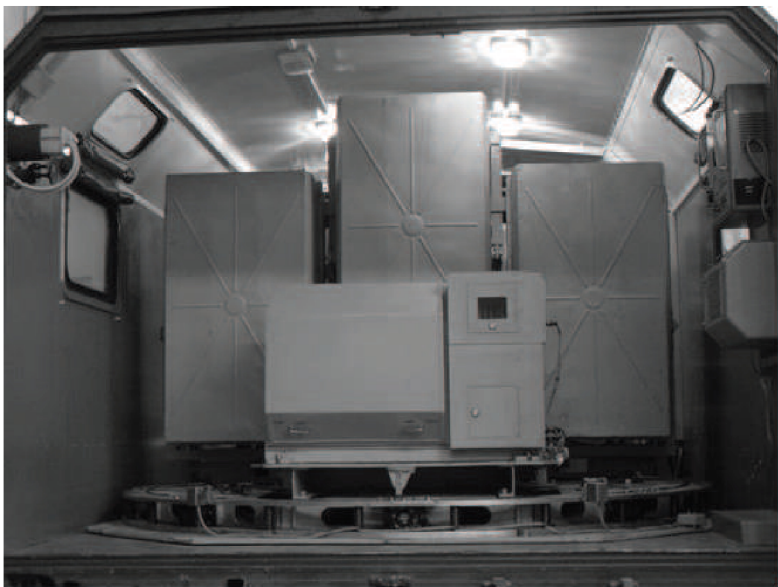


Рис. 8. Модернизированный измерительный комплекс
автомобильного базирования



Рис. 9. Экспериментальный образец
гамма-нейтронного детектора

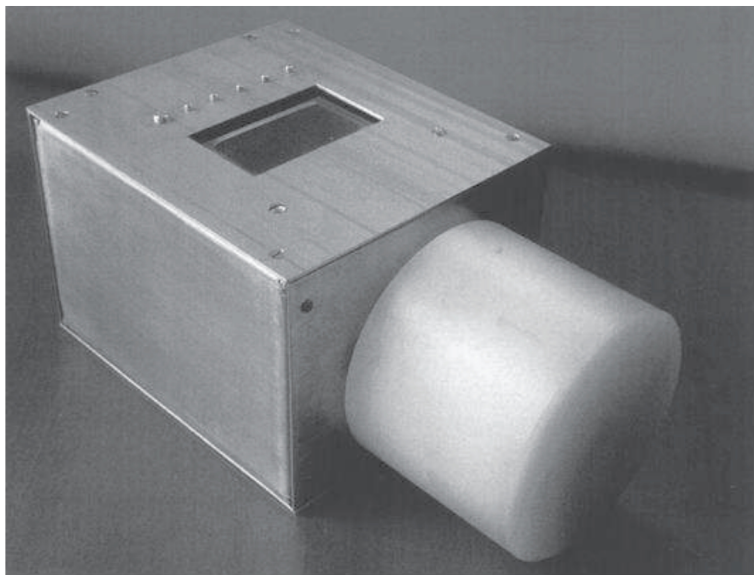


Рис. 10. Экспериментальный образец
высокочувствительного детектора нейтронов



Рис. 11. Вертолетный комплекс специального
технического контроля «Соратник-03»



Рис. 12. Гамма-спектрометр «Пегас»



Рис. 13. Метрологическое оборудование кафедры ЭФ, необходимое для проведения лабораторных испытаний гамма-детектора (слева внизу) и детектора нейтронов (справа)

После создания на кафедре ЭФ по инициативе профессора Ф. Ф. Гаврилова студенческой научно-исследовательской лаборатории

приборов в 1973–1974 годах, получившей в 1979 году статус отраслевой научно-исследовательской лаборатории электроники рентгеновских приборов (руководители *Б. С. Новисов, В. Н. Махов, О. В. Игнатъев, А. И. Коссе*), был разработан ряд новых устройств в области ядерной электроники, защищенных авторскими свидетельствами:

1. А. с. 534131 СССР. Спектрометрический формирователь / *Б. С. Новисов, А. С. Максименко, О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа*. Заявл. 27.05.1975. Оpubл. 07.07.1976.
2. А. с. 701299 СССР. Спектрометрический формирователь / *А. С. Максименко, Б. С. Новисов, Н. Ф. Школа, О. В. Игнатъев*. Заявл. 17.03.1978. Оpubл. 06.08.1979.
3. А. с. 743420 СССР. Спектрометрический усилитель / *Н. Ф. Школа, О. В. Игнатъев, Б. С. Новисов, Ю. А. Шевченко*. Заявл. 26.12.1978. Оpubл. 28.02.1980.
4. А. с. 752210 СССР. Линейный спектрометрический усилитель / *О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, В. П. Гиманов, Б. С. Новисов*. Заявл. 17.03.1978. Оpubл. 07.04.1980.
5. А. с. 803674 СССР. Спектрометрический усилитель / *Н. Ф. Школа, О. В. Игнатъев, Б. С. Новисов, Ю. А. Шевченко, А. И. Коссе*. Заявл. 12.10.1979. Оpubл. 08.10.1980.
6. А. с. 805487 СССР. Аналого-цифровой преобразователь / *В. Н. Махов, А. В. Жуков, О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, Н. Н. Мельник, Б. С. Новисов*. Заявл. 05.02.1979. Оpubл. 14.10.1980.
7. А. с. 790191 СССР. Импульсный усилитель / *А. И. Коссе, В. П. Гиманов, О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, Б. С. Новисов*. Заявл. 31.01.1979. Оpubл. 21.08.80.
8. А. с. 805488 СССР. Аналого-цифровой преобразователь / *В. Н. Махов, А. В. Жуков, О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, Н. Н. Мельник, Б. С. Новисов*. Заявл. 05.02.1979. Оpubл. 14.10.1980.
9. А. с. 1082148 СССР. Спектрометрический усилитель / *Н. Ф. Школа, О. В. Игнатъев, Ю. А. Шевченко, Г. А. Волков*. Заявл. 30.07.1982. Оpubл. 22.11.1983.
10. А. с. 1014124 СССР. Устройство стабилизации исходного уровня / *О. В. Игнатъев, Н. Ф. Школа, А. И. Коссе, А. С. Максименко*. Заявл. 01.09.1978. Оpubл. 21.12.1982.
11. А. с. 1173522 СССР. Устройство стабилизации исходного уровня / *О. В. Игнатъев, А. Д. Пулин, Ю. А. Шевченко, Н. Ф. Школа*. Заявл. 27.10.1982. Оpubл. 16.04.1985.
12. А. с. 1290996 СССР. Устройство автоматической установки порогового уровня напряжения / *О. В. Игнатъев, А. Д. Пулин, Ю. А. Шевченко, Н. Ф. Школа*. Заявл. 03.01.1985. Оpubл. 16.10.1986.

Активными соавторами этих разработок были *А.В. Жуков, А.И. Коссе, А.С. Максименко, Б.С. Новисов, А.Д. Пулин, А.Ю. Шевченко* и *Н.Ф. Школа*.

В 90-е – 2000-е годы в лаборатории *Олега Валентиновича Игнатьева*, одного из выдающихся специалистов в области ядерного приборостроения, доктора технических наук, был разработан ряд спектрометров ионизирующего излучения и рентгенофлуоресцентных микроанализаторов, нашедших широкое практическое применение. Большинство этих разработок было выполнено с использованием оригинальных авторских свидетельств (см. выше) и патентов (описаны в основной части справочника). Краткая информация о приборах, разработанных в лаборатории *О. В. Игнатьева*, приведена ниже.

1. Прибор МАРФ – переносной портативный прибор для определения химического состава сплавов (стали нержавеющие, бронзы, алюминиевые сплавы и т. д.). Предлагаются три разновидности портативных рентгенофлуоресцентных микроанализаторов, отличающихся друг от друга источниками первичного излучения, возбуждающего флуоресценцию пробы, и соответственно конструкцией датчика (рис. 14).



Рис. 14. Переносной портативный прибор МАРФ для определения химического состава сплавов

Первый вариант содержит радиоактивный источник Am^{241} в качестве возбудителя флуоресценции. Во втором варианте в датчике установлены два радиоактивных источника – Am^{241} и Pu^{238} . В третьем варианте вместо радиоактивных источников применен портативный рентгеновский излучатель с набором фильтров (излучатель также управляется от переносного компьютера). Прибор сертифицирован Госстандартом РФ как «средство измерения» во всех вариантах. Сравнительные характеристики вариантов переносных приборов для определения химического состава сплавов приведены в табл. 1.

2. Стационарный прибор для определения химического состава растворов редких земель (рис. 15). Назначение прибора – измерять в растворах массовые доли лантанидов, скандия и иттрия при концентрациях от 1 мг/л до 20 г/л. Прибор позволяет определять также все элементы, указанные в табл. 1, но с большей точностью.

Таблица 1

Пределы обнаружения примесей
приборами МАРФ (в различных вариантах исполнения)

№	Элемент в сплаве	Предел обнаружения, мас. %			Аналитическая линия элемента, кэВ
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	
1	^{12}Mg	—	—	1–2 в вакууме	$K_{\alpha 1}$ 1,255
2	^{13}Al	—	≥ 1 (Pu^{238}) в вакууме	0,5 в вакууме	$K_{\alpha 1}$ 1,486
3	^{14}Si	—	≥ 1 (Pu^{238}) в вакууме	0,1 в вакууме	$K_{\alpha 1}$ 1,740
4	^{15}P	—	≥ 1 (Pu^{238})	0,05 в вакууме	$K_{\alpha 1}$ 2,015
5	^{16}S	—	$\geq 0,1$ (Pu^{238})	0,05 в вакууме	$K_{\alpha 1}$ 2,308
6	^{20}Ca	≥ 1	0,1 (Pu^{238})	0,1	$K_{\alpha 1}$ 3,691
7	^{22}Ti	≥ 1	0,05 (Pu^{238})	0,05	$K_{\alpha 1}$ 4,510
8	^{23}V	?	0,05 (Pu^{238})	0,05	$K_{\alpha 1}$ 4,951
9	^{24}Cr	$\geq 0,5$	0,05 (Pu^{238})	0,05	$K_{\alpha 1}$ 5,414
10	^{25}Mn	$\geq 0,5$	0,05 (Pu^{238})	0,05	$K_{\alpha 1}$ 5,898
11	^{26}Fe	$\geq 0,5$	0,05 (Pu^{238})	0,05	$K_{\alpha 1}$ 6,403
12	^{27}Co	$\geq 0,5$	0,01 (Pu^{238})	0,01	$K_{\alpha 1}$ 6,929
13	^{28}Ni	$\geq 0,5$	0,05 (Pu^{238})	0,05	$K_{\alpha 1}$ 7,477
14	^{29}Cu	$\geq 0,5$	+ (Pu^{238})	< 0,01	$K_{\alpha 1}$ 8,046
15	^{30}Zn	$\geq 0,25$	0,05 (Pu^{238})	$\geq 0,025$	$K_{\alpha 1}$ 8,637
16	^{33}As	0,01	0,01 (Am^{241})	0,01	$K_{\alpha 1}$ 10,542
17	^{40}Zr	0,1	0,1 (Am^{241})	0,1	$K_{\alpha 1}$ 15,772
18	^{41}Nb	0,1	0,1 (Am^{241})	0,1	$K_{\alpha 1}$ 16,612

19	$_{42}\text{Mo}$	+	0,05 (Am^{241})	0,05	$K_{a1} 17,476$
20	$_{48}\text{Cd}$	0,005	0,005 (Am^{241})	0,005	$K_{a1} 23,109$
21	$_{50}\text{Sn}$	0,01 (Am^{241})	0,01 (Am^{241})	0,01	$K_{a1} 25,267$
22	$_{51}\text{Sb}$	0,01	0,01 (Am^{241})	0,01	$K_{a1} 26,355$
23	$_{57}\text{La}$	0,01	0,01 (Am^{241})	0,01	$K_{a1} 33,436$
24	$_{73}\text{Ta}$	0,1	0,05 (Pu^{238})	$\leq 0,05$	$L_{a1} 8,145$
25	$_{74}\text{W}$	$\geq 0,5$	0,05 (Pu^{238})	0,05	$L_{a1} 8,396$
26	$_{82}\text{Pb}$	0,02–0,03	0,02–0,03 (Am^{241})	$\geq 0,02$	$L_{a1} 10,550$
27	$_{83}\text{Bi}$	0,05	0,05 (Am^{241})	$\geq 0,025$	$L_{a1} 10,837$
28	$_{92}\text{U}$	0,01	0,01 (Am^{241})	0,01	$L_{a1} 13,612$ $M_{a1} 3,170$

Стационарный микроанализатор содержит в своем составе:

- охлаждаемый жидким азотом высокоразрешающий блок детектирования рентгеновского излучения с Si(Li)-детектором (энергетическое разрешение по линии излучения 5,9 кэВ составляет 140–150 эВ);
- устройство возбуждения характеристического излучения пробы, содержащее либо радиоактивные источники Am^{241} , Pu^{238} , либо малогабаритный рентгеновский излучатель;
- встроенный в IBM PC и управляемый от него процессор спектрометрических импульсов от Si(Li)-блока детектирования.



Рис. 15. Стационарный прибор для определения химического состава растворов редких земель

3. Портативный полупроводниковый спектрометр энергии гамма-излучения (для точного определения содержания радионуклидов). Спектрометр включает в себя охлаждаемый жидким азотом высокоразрешающий портативный блок детектирования γ -излучения с HpGe-детектором (энергетическое разрешение по линии излучения 5,9 кэВ 270–280 эВ), встроенные в кейс портативный IBM PC типа Notebook, управляемый от него процессор спектрометрических импульсов от HpGe-блока детектирования и источники сетевого и автономного питания.

4. Спектрометр «ПЕГАС» – портативный сцинтилляционный спектрометр энергии гамма-излучения. Прибор разработан по заказу ВМФ РФ совместно с группой *Б. В. Шульгина, В. Л. Петрова*. Возможна версия прибора, выполняющая функции спектрометра гамма-излучения и всеволнового радиометра нейтронного излучения. Базовая версия прибора сертифицирована Госстандартом РФ как «средство измерения». Прибор предназначен для обнаружения источников гамма-излучения, определения их местоположения и создаваемой ими мощности дозы; идентификации обнаруженных источников гамма-излучения путем измерения спектра испускаемого гамма-излучения; для оценки активности (количества) гамма-излучающих радионуклидов или делящихся материалов при одновременном контроле радиационной обстановки в зоне или на объекте контроля.

Основные технические характеристики прибора ПЕГАС

Относительное энергетическое разрешение спектрометра по линии гамма-излучения с энергией: 661,66 кэВ (^{137}Cs), %	8
Диапазон регистрируемых спектрометром энергий, кэВ	50–3000
Интегральная нелинейность спектрометра в диапазоне измеряемых энергий, %	± 1
Максимальная входная статистическая нагрузка спектрометра, имп/с, не менее	30 000
Время непрерывной работы спектрометра:	
при питании от сети ~ 220 В, ч	24
при питании от встроенных аккумуляторов, ч	3
Масса спектрометра, кг	10
Мощность, потребляемая спектрометром от сети, Вт	60
Время установления рабочего режима, мин	15

5. Специальные устройства ядерной электроники

5.1. *Сверхбыстродействующий спектрометр заряженных частиц* с детектором из природного алмаза (исполнения: а – САМАС; б – портативный, в виде кейса со встроенным NOTEBOOKом).

Важнейшие параметры и особенности:

- $n_{o\max} \geq 5,6 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$;
- «мертвое» время $DT = T_{\text{width}} = 700 \text{ нс}$;
- разрешающее время инспектора наложений $T_{\text{res}} \leq 30 \text{ нс}$;
- эффективный корректор просчетов по модифицированному методу Хармса (Патент РФ на корректор находится в стадии оформления).

5.2. *Процессор спектрометрических импульсов* с автоматической адаптацией времени формирования к индивидуальным интервалам времени между детекторными сигналами.

Важнейшие параметры и особенности:

- эффективное « мертвое » время $DT_{\text{eff}} \leq T_{\text{width}}/2$;
- $n_{\text{in.max}} \geq 2,50/T_{\text{sh}}$, диапазон времен формирования $T_{\text{sh}} = 4\text{--}32 \text{ мкс}$;
- эффективный корректор просчетов по модифицированному методу Хармса;
- встроенный АЦП с временем преобразования $T_{\text{conv}} \leq 1,6 \text{ мкс}$.

5.3. *Генератор статистических сигналов* (иммитатор различных блоков детектирования ионизирующих излучений) для исследования, тестирования и настройки электронных трактов спектрометров.

Важнейшие параметры и особенности:

- диапазон частот следования экспоненциальных импульсов (регулярных и статистически распределенных во времени) – 100 Гц – 1,0 МГц;
- диапазон изменения амплитуд экспоненциальных импульсов – 1,0 В – 10 мВ;
- постоянная времени спада $\tau_d = 5\text{--}50 \text{ мкс}$ при постоянном времени нарастания $T_{\text{rise}} = 40 \text{ нс}$;
- режим генерации равномерно распределенных по амплитудам импульсов («белый» спектр амплитуд);
- режим фиксированного (и регулируемого) «мертвого» времени.

6. Мессбауэровские спектрометры

Третье направление научно-технических разработок кафедры неразрывно связано с научной группой В. А. Семенкина. Фундамент работы этой группы был заложен в 1970-1980 годах профессорами д.т.н. Р.И. Минцем и

В.С. Коровым, под непосредственным научным руководством которых был создан первый на Урале мессбауэровский спектрометр, и выполнены пионерские исследования. Начиная с 1980 года *В. А. Семенкин*, будучи научным консультантом мессбауэровских исследований на кафедре ЭФ, начинает цикл работ по новому научному направлению – многомерная параметрическая мессбауэровская спектрометрия – в тесном сотрудничестве и соавторстве с известными учеными в области эффекта *Мессбауэра* *С. М. Иркаевым* и *М. М. Соколовым* (Институт аналитического приборостроения АН СССР, Ленинград). На рис. 16 приведен титульный лист их совместного проекта с личным автографом *Рудольфа Мессбауэра*, который рецензировал этот проект и активно поддержал его.

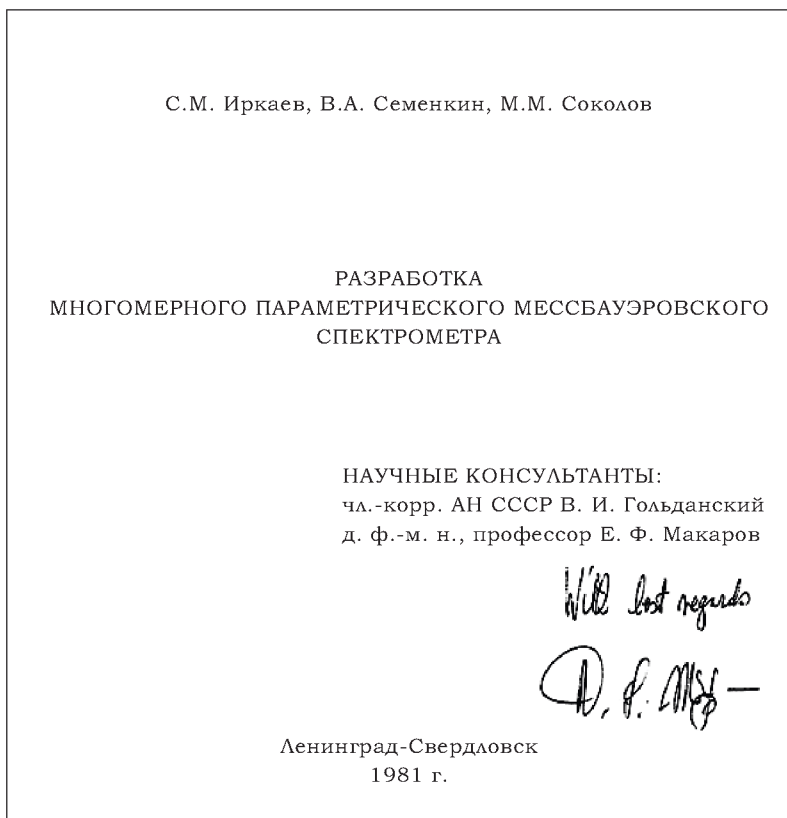


Рис. 16. Титульный лист совместного проекта
с автографом *Р. Мессбауэра*

В 1982 году в отраслевой лаборатории электроники для рентгеновских приборов, организованной при кафедре экспериментальной физики по инициативе *Д. А. Пулина, Б. С. Новисова, В. Н. Махова, Ю. А. Шевченко и О. В. Игнатьева*, образуется группа по разработке уникального мессбауэровского спектрометра. Руководителем этой группы назначается *В. А. Семенкин*. На заседании Совета по научному приборостроению при Президиуме АН СССР 16 февраля 1983 года утверждаются техническое задание, исполнители, заказчики и финансирование по проекту «Спектрометр Мессбауэра базовый», который вносится в титульный список уникальных научных приборов нашей страны. Одновременно работы кафедры экспериментальной физики по этому проекту входят в межвузовскую целевую программу работ на 1982–1985 годы «Когерентные процессы и взаимодействие мессбауэровского излучения с веществом» (шифр «Кристалл»). Руководитель группы *В. А. Семенкин* избирается членом секции «Аппаратура и методика мессбауэровской спектроскопии» в этой крупной координационной программе всех мессбауэровских работ в СССР.

В 1985 году группа выполняет три крупных НИР: «Секвента» – разработка системы доплеровской модуляции для аттестации радионуклидной продукции методом эффекта *Мессбауэра* (по заказу Госкомитета по атомной энергии СССР и Радиевого института), «Малахит» и «Малахит-МУ» – разработка микропроцессорного накопителя для спектрометров ионизирующих излучений (по заказу Министерств общего и среднего машиностроения, Московского авиационного института и Радиевого института). Результаты испытания разработанной аппаратуры на различных полигонах подтвердили высокое качество и надежность разработок. Был получен акт внедрения НИР с редкой формулировкой – «подъем престижа страны».

Выполняющиеся в это время дипломные проекты, как правило, выливаются в конкретную работу вышеназванных тематик. Можно назвать выпускников кафедры экспериментальной физики, которые выполнили наиболее значимые дипломные работы: *В. Манженко, Б. Широков, В. Вайнштейн, В. Скотников, А. Г. Голиков, А. В. Тюков, А. Р. Кулесский, Р. Р. Гельманов*. Совместно с *С. М. Иркаевым*, выполняются пионерские работы по использованию многомерной доплеровской модуляции в резонансном детектировании эффекта Мессбауэра. Результаты публикуются в журналах «Приборы и техника эксперимента» и «Письма в журнал техни-

ческой физики». На эти работы обращают внимание зарубежные ученые. Они цитируются в списке фундаментальных достижений 1984 года (рис. 17).

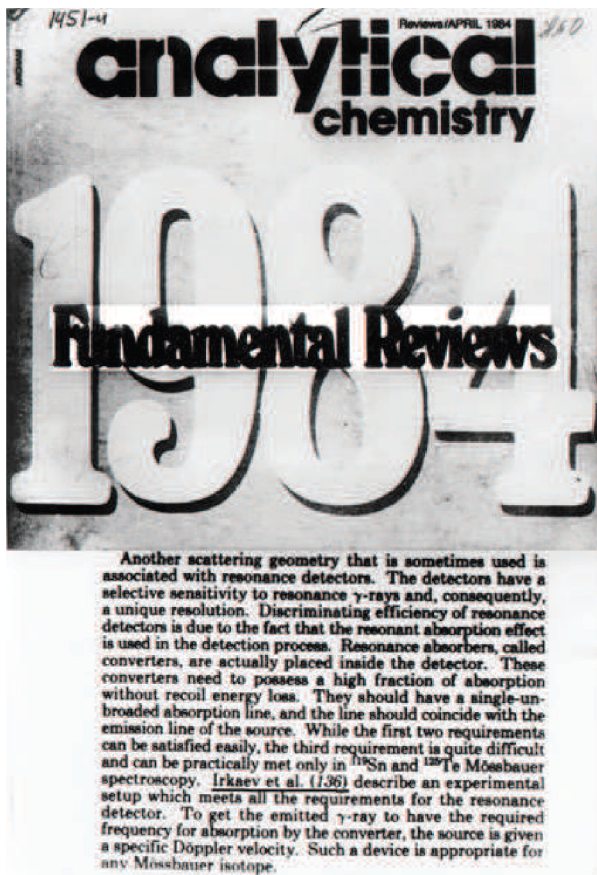


Рис. 17. Титульный лист журнала
«Фундаментальные достижения»

С 1985 года по 90-е годы выполняется НИР «Разработка основ многомерной мессбауэровской спектрометрии» по заказу Института аналитического приборостроения и Института химической физики. Работа заканчивается государственными испытаниями нового уникального научного

прибора многомерного мессбауэровского параметрического спектрометра СМ-2201 (рис. 18).



Рис. 18. Общий вид мессбауэровского спектрометра СМ-2201 совместной разработки УПИ (УГТУ–УПИ) и ИАП АН СССР (РАН)

На опытном производстве АН СССР было выпущено 40 аналогичных приборов, которыми укомплектованы сегодня все ведущие мессбауэровские лаборатории академических и отраслевых институтов и многих вузов России. За это время был проведен физический анализ эффекта *Доплера* и эффекта *Мессбауэра* в многомерных схемах резонансного детектирования, фильтрации, поляризации, селективно-индуцированного резонансного эффекта, рассчитаны гамма-оптические схемы и разработаны математические и электронные схемы на базе теории графов, схемы доплеровской модуляции с физической реализацией секвенты 11-го порядка путем синтеза знакопеременных функций *Уолша*. Предложенные решения позволили исключить в многомерном эксперименте искажающие факторы квантовых биений и фазовых искажений в функции свертки спектральных линий источника, поглотителя и промежуточных резонансно рассеивающих сред. Предложенный метод позволил радикально увеличить разрешающую способность мессбауэровской спектрометрии на основных резонансных нуклидах: железо-57, олово-119, тантал-181, европий-151, никель-61, золото-197, рутений-99. В эксперименте резонансной фильтрации с резонансным детектированием была зарегистрирована спектральная линия меньше естественной ширины 14,4 кэВ гамма-излучения ядра железа-57

(«эффект псевдонарушения принципа Гейзенберга»). По результатам работы группы в период с 1985 по 1992 год получено 17 зарубежных патентов (в том числе патенты Великобритании, Франции, Японии, Чехии, Болгарии) и 9 авторских свидетельств СССР.

7 мая 1987 года *В. А. Семенкин* в соавторстве с сотрудниками ИАП АН СССР *С. М. Иркаевым*, *В. В. Куприяновым* и *М. М. Соколовым* получили патент Великобритании «Метод резонансной гамма-спектроскопии». Это второй патент в мире, после патента *Р. Мессбауэра*, с подобной формулировкой. На рис. 19 приведена копия первого листа этого патента.

PATENTS ACT 1977		7 MAY 1987
PATENTS FORM No. 7/77 (Revised 1982)		
(Rule: 15, 82)		
The Comptroller The Patent Office 25 Southampton Buildings London, WC2A 3AY		1987 10745
STATEMENT OF INVENTORSHIP AND OF RIGHT TO THE GRANT OF A PATENT		
I	Application No.	
II	Title <u>METHOD OF GAMMA-RAY RESONANCE SPECTROSCOPY</u>	
III	I/We <u>НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ</u> <u>АКАДЕМИИ НАУК СССР</u>	
the applicant(s) in respect of the above mentioned application for a patent declare as follows:—		
i) I/We believe the person(s) whose name(s) and address(es) are stated on the reverse side of this form (and supplementary sheet if necessary) is/are the inventor(s) of the invention in respect of which the above mentioned application is made;		
ii) The derivation of my/our right to be granted a patent upon the said application is as follows:— <u>By virtue of the said inventors employment by the</u> <u>said Applicants.</u>		
iii) I/We consent to the publication of the details contained herein to each of the inventors named on the reverse side of this form.		
IV	Signature (see Note 3)	
	<u>MATHISEN, MACARA & CO.</u>	
	<u>Agents for the Applicants</u>	
PLEASE SEE OVERLEAF.		
M4922		

Рис. 19. Первый лист патента Великобритании «Метод резонансной гамма-спектроскопии»

В эти же годы различные методические и схмотехнические решения спектрометра СМ-2201 были использованы в разработке специализированной техники эффекта Мессбауэра. Так, по планам координационной программы «Кристалл» были выполнены совместно с кафедрой ядерной физики Белорусского госуниверситета проект (руководитель *А. Л. Холмецкий*) передвижной геологоразведочной мессбауэровской лаборатории и совместно с НИИ Физики Ростовского госуниверситета разработка мессбауэровского спектрометра для экспрессных анализов МС-1010 (руководители *В. Н. Лосев* и *Д. А. Сарычев*). Общий вид этого спектрометра приведен на рис. 20. Этот спектрометр выпущен малой серией на опытном производстве НИИ физики РГУ.

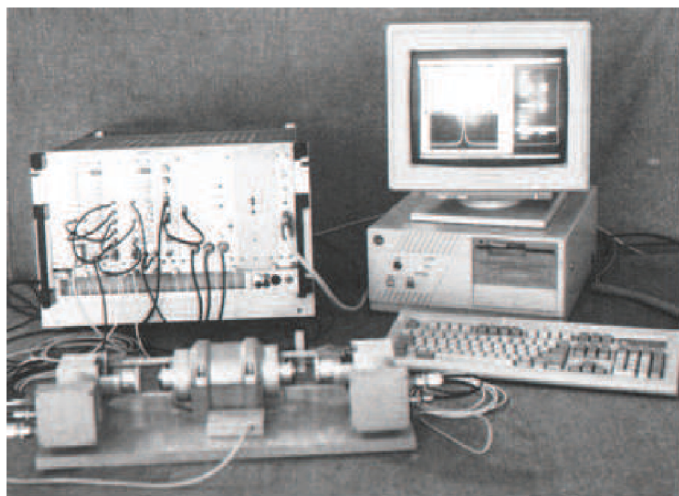


Рис. 20. Общий вид спектрометра СМ-1010

С сентября 1989 года мессбауэровская группа кафедры экспериментальной физики получает доступ к международному центру данных по эффекту *Мессбауэра* (университет штата Северная Каролина, США), что позволило на порядок поднять эффективность библиографического анализа при подготовке собственных публикаций.

Высокие показатели, которые были получены при ведомственных испытаниях спектрометра СМ-1010, в значительной степени были обусловлены новой конструкцией доплеровского модулятора на редкоземельных магнитах (совместная разработка *В. А. Семенкина* и *С. Дедкова*, КБ

Уральского электромеханического завода). В 1989 году система доплеровской модуляции с этим модулятором была использована в уникальном эксперименте совместно с *В. Н. Белогуровым* на Саласпилском атомном реакторе Института физики АН Латвийской ССР – был измерен мессбауэровский спектр гадолиния-155 в нейтронном пучке реактора. Общая масса исследуемого вещества в гелиевом криостате,двигающаяся с частотой 10 Гц, составляла почти 10 кг. При этом относительная ошибка доплеровской модуляции была не более 0,1 %, в то время как на других известных спектрометрах (ЯГРС-4М, фирм Франции, Германии, США, Великобритании) такая ошибка достигалась с подвижными массами не более 10 г. К этому времени группа располагает мощным программным пакетом по обработке результатов измерений. Он был создан в сотрудничестве с Институтом электроники АН Узбекской ССР (разработчик *С. В. Шевелев*, впоследствии программа MOSREF в составе СМ-2201) и НИИ физики Ростовского государственного университета (разработчик *С. Брюгеман*, программа UNIVEM-4). Модернизированный вариант этого пакета эксплуатируется в лаборатории мессбауэровской спектроскопии по настоящее время.

В 1990–1995 годах выполняется НИР по госбюджетному финансированию «Развитие метода доплеровской модуляции для повышения разрешающей способности мессбауэровской спектроскопии». На этом этапе исследований совместно с *Ю. Н. Секисовым* продолжаются работы по измерению эффекта Мессбауэра с одновременным пропусканием электрического тока и при воздействии внешнего электрического поля в метастабильных инварных сплавах. Уточняется и развивается молекулярная кластерная модель металлического состояния, ранее предложенная *Ю. Н. Секисовым*. В сотрудничестве с лабораторией пучковых воздействий Института электрофизики УрО РАН (руководитель профессор *В. В. Овчинников*, старший научный сотрудник *Б. Ю. Голобородский*) в 1995 году впервые в мире проводится эксперимент по измерению эффекта Мессбауэра непосредственно под пучком аргоновой пушки. Также совместно выполняется цикл исследований радиационного упорядочения в сплавах железо-хром, железо-никель и железо-палладий-золото. Профессором *В. В. Овчинниковым* высказывается гипотеза о новом механизме превращения – «радиационной детонации». В соавторстве с *В. А. Семенкиным* эти результаты докладываются и публикуются в трудах нескольких межнациональных совещаний «Радиационная физика твердого

тела». Одновременно силами группы осуществляется инженерное обеспечение в работе многомерных спектрометров в институтах физики металлов, электрофизики и минералогии УрО РАН. В том же 1995 году группа выходит из состава отраслевой лаборатории электроники для рентгеновских приборов и образует самостоятельное научное подразделение кафедры экспериментальной физики – лабораторию мессбауэровской спектроскопии (научный руководитель *В. А. Семенкин*).

В настоящее время по результатам всех совместных с УГТУ–УПИ работ в Институте аналитического приборостроения РАН выпускается следующий комплекс многомерных параметрических мессбауэровских приборов.

1. Мессбауэровские спектрометры СМ-2201 и СМ-3201. Спектрометры СМ-2201 и СМ-3201 (рис. 21) являются многофункциональными приборами широкого назначения и предоставляют возможность проводить автоматическое накопление и последующую обработку спектров. Спектрометры удовлетворяют требованиям многомерной параметрической мессбауэровской спектроскопии, использующей многократную систему доплеровской модуляции и различного рода резонансные преобразователи спектральной линии.



Рис. 21. Мессбауэровский спектрометр СМ-2201

Введение в схему эксперимента многократной доплеровской модуляции (2-кратной для СМ-2201 и 3-кратной для СМ-3201) и резонансных

преобразователей (резонансных детекторов, фильтров, поляризаторов, затворов) расширяет информационный потенциал метода мессбауэровской спектроскопии, приводит к увеличению разрешающей способности и чувствительности метода. Спектрометр обеспечивает автоматическое накопление спектров в следующих схемах мессбауэровской гамма-оптики: пропускания, эмиссии, прямого, малоуглового и обратного рассеяния, релеевского рассеяния мессбауэровского излучения, селективно-индуцированного двойного эффекта *Мессбауэра*, любых комбинаций вышеупомянутых схем.

2. Мессбауэровский спектрометр CM-2201DR (рис. 22). Спектрометр предназначен для исследования динамических процессов в конденсированных средах, как содержащих (режим селективно-индуцированного эффекта *Мессбауэра*), так и не содержащих (режим релеевского рассеяния мессбауэровского излучения) в своем составе ядра резонансного изотопа, в условиях высокого разрешения и чувствительности. Это достигается введением в состав спектрометра резонансных детекторов, применением специальных законов изменения типа доплеровской модуляции и оптимизации гамма-оптической схемы измерения.

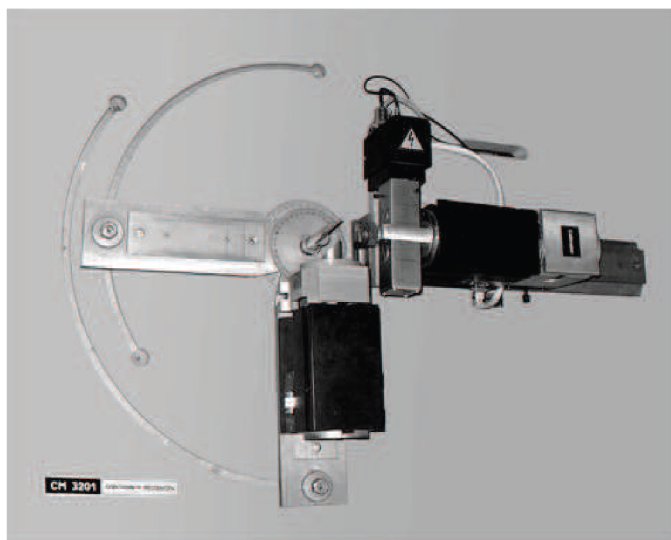


Рис. 22. Мессбауэровский спектрометр CM-2201DR

3. Мессбауэровский спектрометр CM-1101TER (рис. 23). Спектрометр предназначен для селективных по глубине исследований поверхности твердого тела при скользящих углах падения, включая диапазон углов полного внешнего отражения резонансного излучения. Спектрометр позволяет проводить исследования ультратонких слоев поверхности в области 0–100 нм, 0–300 нм, 0–600 нм. Например, эффективная глубина исследуемой поверхности для длины волны 0,086 нм (излучение 14,4 кэВ) составляет 2 нм.

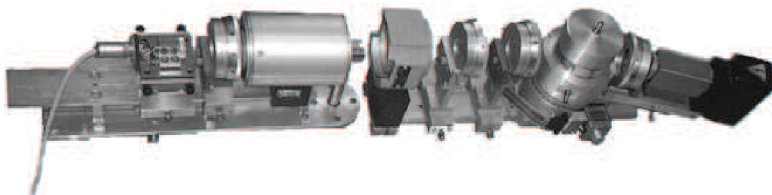


Рис. 23. Мессбауэровский спектрометр CM-1101TER

Отличительной особенностью спектрометра является то, что он позволяет проводить измерения спектров одновременно по четырем независимым каналам реакции среды на падающее на ее поверхность излучение:

- гамма-излучению, зеркально отраженному ядрами и электронами атомов;
- электронам конверсии и Оже-электронам, переизлученным атомами;
- характеристическому рентгеновскому излучению;
- гамма-излучению, резонансно рассеянному атомами.

4. Мессбауэровские спектрометры CM-1101 и CM-2101Turbo.

Компактный спектрометр CM-1101 (рис. 24) предназначен для технологических применений в лабораториях и заводских условиях, а также в геологических партиях при проведении поисковых работ. В приборе осуществлена традиционная схема мессбауэровского спектрометра. Реализация основных принципов спектроскопии и простота технического исполнения, вместе с небольшой стоимостью, позволяют рекомендовать прибор для учебных целей. В спектрометре CM-2101Turbo, предназначенном для проведения экспрессных исследований веществ, содержащих широкий круг

изотопов, с высоким разрешением и чувствительностью, введена вторая, синхронизированная с первой, система доплеровской модуляции.



Рис. 24. Мессбауэровский спектрометр CM-1101

Рекордная чувствительность достигается в эмиссионной геометрии. При проведении экспериментов на соединениях железа получена величина эффекта 1200 %. В геометрии пропускания спектрометр позволяет увеличить спектральное разрешение линий (вплоть до 27 %), чувствительность (на порядок) и значительно сократить время измерений.

5. Многофункциональный приборный комплекс CM-4201TERLAB.

Комплекс (рис. 25) предназначен для селективных по глубине комплексных исследований фазового и элементного составов, физико-химического состояния поверхности и объема конденсированных сред (твердые тела, многослойные синтетические структуры, наноструктуры и наноматериалы). Многофункциональность спектрометра заключается в том, что в нем реализованы возможности мессбауэровской и рентгенофлуоресцентной спектроскопии, рентгеновской дифракции при нормальных и скользящих по отношению к поверхности углах падения излучения, позволяющие получать взаимодополняющую информацию об исследуемом объекте. Спектрометр позволяет также проводить измерения в режимах рентгеновской рефлектометрии и рентгеновских и мессбауэровских стоячих волн.

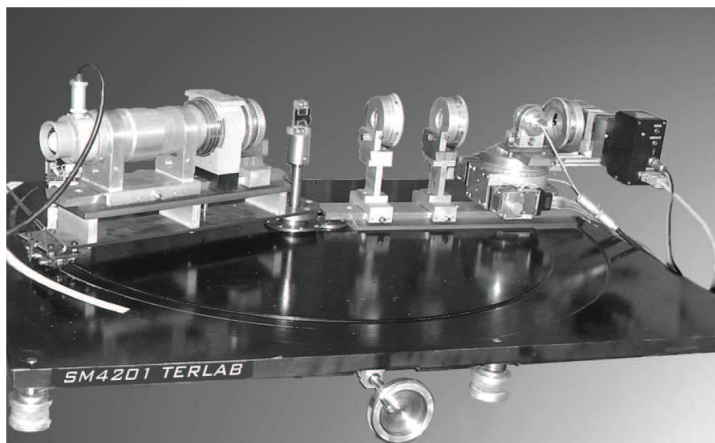


Рис. 25. Многофункциональный приборный комплекс SM-4201TERLAB

В результате развития этого направления на базе 3-х спектрометров SM2201 создан уникальный мессбауэровский спектрометрический комплекс с рекордно высоким скоростным разрешением для биомедицинских исследований (рис. 26 и рис. 27).



Рис. 26. Мессбауэровский спектрометрический комплекс высокого скоростного разрешения для биомедицинских исследований



Рис. 27. Блоки доплеровской модуляции
и регистрации гамма-излучения
в мессбауэровском спектрометрическом комплексе

Проведение этих измерений выполняется под научным руководством главного научного сотрудника кафедры ФМПК д.ф.-м.н. М.И. Оштраха, который обеспечил высокую публикационную активность и добился всемирного признания научных результатов работы лаборатории.

С участием сотрудников группы *В. А. Семенкина* были подготовлены следующие авторские свидетельства СССР и зарубежные патенты (Болгарии, Великобритании, Германии, Франции, Чехословакии и Японии):

1. А. с. 1014379 СССР. Резонансный детектор / *С. М. Иркаев, В. А. Семенкин, В. В. Куприянов*. Оpubл. 21.12.1982.
2. А. с. 1014381 СССР. Мессбауэровский спектрометр / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин*. Оpubл. 05.04.1982.
3. А. с. 1012677 СССР. Мессбауэровский спектрометр с резонансным детектором / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. А. Семенкин, В. В. Куприянов*. Оpubл. 14.12.1982.
4. А. с. 1014381 СССР. Устройство управления доплеровским модулятором мессбауэровского спектрометра / *М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. А. Семенкин, В. В. Куприянов*. Оpubл. 21.12.1982.
5. А. с. 1124714 СССР. Способ гамма-резонансной спектроскопии / *С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов*. Оpubл. 05.04.1982.
6. А. с. 1073718 СССР. Мессбауэровский спектрометр с регистрацией электронов / *О. А. Гордеев, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов*. Оpubл. 15.10.1983.

7. А. с. 1119468 СССР. Мессбауэровский спектрометр / М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин. Оpubл. 15.06.1984.
8. А. с. 1144509 СССР. Мессбауэровский спектрометр / М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин. Оpubл. 08.11.1984.
9. А. с. 1190759 СССР. Способ регулирования диапазонов скорости в мессбауэровском спектрометре / М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин. Оpubл. 08.07.1985.
10. А. с. PV 7264-86 ЧССР. Мессбауэровский спектрометр / М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин. Оpubл. 1986.
11. А. с. PV 7341-86 ЧССР. Способ гамма-резонансной спектроскопии / С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов. Оpubл. 1986.
12. А. с. 76746 НРБ. Мессбауэровский спектрометр / М. Е. Вахонин, С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин. Оpubл. 1986.
13. А. с. 73671 НРБ. Способ гамма-резонансной спектроскопии / С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов. Оpubл. 1986.
14. А. с. WPG 01T/295 238-4-1986 ГДР. Способ гамма-резонансной спектроскопии / С. М. Иркаев, В. В. Куприянов, В. А. Семенкин, М. М. Соколов. Оpubл. 1986.
15. Пат. 10745-1987 Великобритании. Method of gamma-ray resonance spectroscopy / S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin, M. M. Sokolov. Оpubл. Patents Act, 1977.
16. Пат. Fr 2616539-B1, 8708228 Франции. Spectrometere de mossbauer / M. E. Vahonin, S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1988.
17. Выложенный пат. Offenlegungsschrift, DE 3719348 A1 ФРГ. Mossbauer-Spectrometer / M. E. Vahonin, S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1988.
18. Выложенный пат. Offenlegungsschrift, DE 3715851 A1 ФРГ. Verfahren ZVR gamma-resnanzpectroscopie Mossbauer / M. E. Vahonin, S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1988.
19. Выложенный пат. 871294 Великобритании. Mossbauer spectrometer / M. E. Vahonin, S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1988.
20. Выложенный пат. Brit. UK Pat. Appl. GB 2204395 A1 Великобритании. Method of gamma-ray resonance spectroscopy with synchronous movement of source, filter and sample / S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin, M. M. Sokolov. Оpubл. Brit. UK Pat. Appl. GB 2204395 A1. 9 Nov. 1988, 18 pp.
21. Выложенный пат. 62-123588 Японии. Method of gamma-ray resonance spectroscopy / M. E. Vahonin, S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1988.
22. Выложенный пат. 63-317751 Японии. Mossbauer spectrometer / M. E. Vahonin, S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1989.
23. Пат. Patentshrift, DD 276 800 A3M. ФРГ. Mossbauer-spectrometer / M. E. Vahonin, S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin. Оpubл. 1989.
24. Пат. Fr 2615316-B1, 8706858 Франции. Procede de spectroscopie mossbauer / S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin, M. M. Sokolov. Оpubл. 1989.
25. Пат. 2204385 Великобритании. Method of gamma-ray resonance spectroscopy / S. M. Irkaev, V. V. Kupriyanov, V. A. Semionkin, M. M. Sokolov. Оpubл. 1990.

Изобретения кафедры нашли применение не только в технических областях, но и в искусстве: А. с. 1211273 СССР. Композиция для декоративного покрытия / В. Н. Шульгин, Б. В. Шульгин. Оpubл. 15.10.1985. Предложенная композиция используется для создания кристаллогравюр (рис. 28).

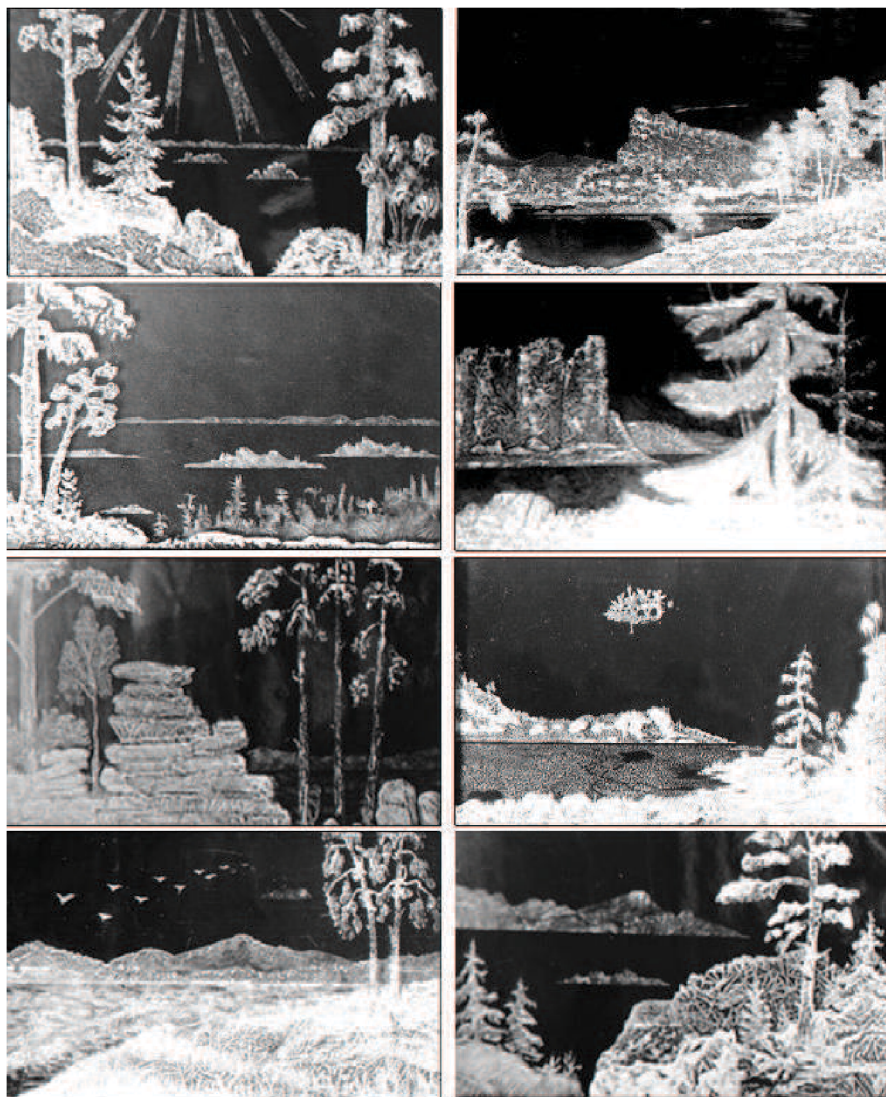


Рис. 28. Кристаллогравюры, полученные по А. с. 1211273 СССР
(авторы В. Н. Шульгин, Б. В. Шульгин)

Кроме описанных выше научно-технических направлений кафедры экспериментальной физики известна своими работами в области радиационной физики и физики твердого тела (*А. А. Пузанов, В. Н. Багаев, А. Р. Урманов, В. И. Радченко, Г. И. Пилипенко, Г. Д. Ведьманов, К. О. Хохлов, С. Б. Ефимов, В. Я. Смирнов*). Значительная часть работ в этом направлении выполнялась с использованием парка ускорителей кафедры (циклотрона, микротрона, бетатронов, электростатического генератора) и поддерживалась рядом грантов Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), фонда «Университеты России», фонда НАТО, Уральского научно-образовательного центра «Перспективные материалы» (REC-005, CRDF) и др. Отметим, что результаты работ в области радиационной физики твердого тела носили фундаментально-прикладной характер. Новые технические решения в области радиационных технологий были защищены патентами РФ. В частности, были изобретены: способ окрашивания кристаллов природного берилла и изделий из них (пат. 2081950 РФ), способ определения пористости ядерных мембран с использованием циклотронных ионных пучков (пат. 2107279 РФ), способ изготовления сцинтилляционных экранов планарного типа с высоким пространственным разрешением от 6 мкм (пат. 2242025 РФ, пат. 2243573 РФ, пат. 2261459 РФ), способ изготовления инфракрасных светофильтров (пат. 2269802 РФ) и совместно с французами способ изготовления волоконных гетероструктур (пат. 2282214 РФ). Безусловно значительный вклад в разработку этих технологий внесли сотрудники ускорителей *Ф. Г. Нешов, Е. Г. Голиков, Ю. А. Ушаков, Г. И. Сметанин, А. Ю. Шмидт, Ю. Г. Лазарев, Ф. М. Клинов, Е. Ю. Журавлева, П. И. Буйлин, Н. П. Парфенов, В. А. Астрелин* и др.

Номера авторских свидетельств СССР, полученных сотрудниками кафедры экспериментальной физики в соавторстве с коллегами других организаций приведены ниже в виде четырех тематических блоков.

Блок 1. «Составы». Люминесцентные, сцинтилляционные, термолюминесцентные, термоэкзоэмиссионные и другие оптические функциональные материалы многоцелевого назначения на базе кристаллов и стекол (100 изобретений): авторские свидетельства СССР №№ 221429, 321893, 323429, 336290, 370363, 382034, 392769, 396644, 403315, 403316, 403317, 417061, 417063, 430736, 436032, 436609, 439215, 447092, 453912, 463641, 473139, 488496, 490355, 536133, 555803, 576293, 577804, 581698, 598318,

615760, 641794, 642957, 643021, 664366, 671520, 678954, 693975, 702857, 722417, 722861, 723470, 738453, 743407, 753046, 769945, 785824, 809972, 820437, 828642, 847802, 853973, 856175, 860432, 900706, 921325, 921328, 932764, 1005405, 1055751, 1059882, 1064776, 1072461, 1088501, 1090140, 1102355, 1106281, 1112903, 1114181, 1119459, 1119464, 1136627, 1172252, 1211273, 1227012, 1259831, 1264719, 1266185, 1267907, 1274472, 1289224, 1304584, 1304585, 1322830, 1345951, 1351078, 1380465, 1382206, 1382207, 1517573, 1549392, 1550925, 1559909, 1570509, 1594157, 1668377, 1717566, заявка 4926600, 1780281, 1780420, 1814393.

Блок 2. «Способы». Способы получения новых оптических материалов многоцелевого назначения, способы выращивания кристаллов и способы получения стекол (38 изобретений): авторские свидетельства СССР №№ 238058, 245252, 318302, 320520, 353578, 363288, 442696, 587665, 826765, 833653, 940341, 990669, 993728, 1070953, 1075756, 1088414, 1106268, 1112902, 1113358, 1132609, 1137789, 1185839, 1190234, 1225432, 1317995, 1340365, 1347729, 1367567, 1369528, 1387803, 1391317, 1404944, 1482254, 1512024, 1545494, 1582850, 1589762, 1745779.

Блок 3. «Устройства 1». Устройства электроники и оптоэлектроники, детекторные устройства, сцинтилляционные спектрометры (48 изобретений), организатором первых разработок был старший преподаватель Д. А. Пулин (работал на кафедре ЭФ с 1954 года по 1984 год): авторские свидетельства №№ 99348, 265018, 269343, 272445, 290529, 291590, 336624, 338867, 401231, 403030, 405454, 426578, 481867, 534131, 541136, 625178, 671673, 701299, 705881, 743420, 752210, 776328, 790191, 801242, 803674, 805487, 805488, 815489, 824103, 832515, 837208, 894860, 987554, 1014124, 1277767, 1290996, 1294120, 1334955, 1336734, 3913577, 1340367, 1378605, 1422938, 1505211, 1510022, 1558251, 1646397, 1649971.

Блок 4. «Устройства 2». Мессбауэровские спектрометры (11 авторских свидетельств СССР и 7 зарубежных патентных документов на разработки в области мессбауэровской спектроскопии, выполненные под руководством ведущего научного сотрудника УрФУ В. А. Семёнкина): авторские свидетельства №№ 1012677, 1014379, 1014360, 1014381, 1073718, 1082148, 1119468, 1124714, 1154509, 1173522, 1190759 и 7 патентных зарубежных документов (позиции 198-204 в табл. 1, заявитель Институт аналитического приборостроения РАН, г. Санкт-Петербург).

В основной части нового справочника, выпуск 2, 2015 г., приведены полные описания технических решений, разработанных сотрудниками кафедры ЭФ на уровне патентов на изобретения, а также сведения о полезных моделях РФ. В описания изобретений для соблюдения единообразия по всему тексту справочника внесены незначительные редакционные правки. Полные описания патентов РФ можно также найти на интернет-сайте Роспатента (www.fips.ru).

ПЕРЕЧЕНЬ АВТОРСКИХ СВИДЕТЕЛЬСТВ СССР

Перечень авторских свидетельств СССР, заявленных от имени Уральского политехнического института (ныне УрФУ) в «допатентный» период (до принятия патентного закона № 3517 от 23.09.1992), приведен в табл. 1; в ее конце даны сведения о зарубежных патентных документах, выданных в тот же «допатентный» период на технические решения, разработанные с участием сотрудников кафедр ЭФ и ФМПК УрФУ.

Таблица 1

Сведения об изобретениях на уровне авторских свидетельств СССР

№ п/п	Номер а. с.	Год	Название	Авторы	Примечание
1	2	3	4	5	6
1.	99348	1976	Оптоэлектронное устройство	Л. В. Викторов В. Э. Клюкин А. А. Лесниковский А. Л. Шаляпин Б. В. Шульгин	Закрытое
2.	221429	1985	Оптический материал	И. Н. Кассандров А. П. Оконечников Л. Н. Ромашев Ф. Ф. Гаврилов А. Г. Бирюков	Закрытое
3.	238058	1968	Способ получения неорганического люминофора-сцинтиллятора	В. Г. Чухланцев Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов	Составы $\text{Na}_2\text{ZrSiO}_5:\text{Ln}$, $\text{Na}_2\text{HfSiO}_5:\text{Ln}$
4.	245252	1969	Способ получения неорганического люминофора-сцинтиллятора	В. Г. Чухланцев Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов	Составы $\text{Na}_2\text{ZrSiO}_5:\text{Ln}$, $\text{Na}_2\text{HfSiO}_5:\text{Ln}$
5.	265018	1987	Устройство съема информации	А. И. Сергеев А. С. Максименко Б. В. Шульгин Б. С. Верман	Закрытое
6.	269343	1970	Ключевой формирователь сцинтилляционного спектрометра	Д. А. Пулин Б. С. Новисов В. М. Антимиров	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
7.	272445	1971	Спектрометрический формирователь	Б. С. Новисов Д. А. Пулин	
8.	290529	1989	Устройство обработки информации	А. И. Сергеев Б. В. Шульгин А. Н. Ковшов А. Ф. Ляпустин А. И. Коссе	Закрытое
9.	291590	1971	Быстрый сцинтиляционный гамма спектрометр фотопоглощения	Д. А. Пулин Б. С. Новисов В. М. Антимиров	
10.	318302	1971	Способ получения неорганического люминофора-сцинтиллятора на основе гидрида лития	Ф. Ф. Гаврилов В. Д. Пирогов С. О. Чолах Б. В. Шульгин	Состав LiH:Bi,Mg
11.	320520	1971	Способ получения неорганического люминофора-сцинтиллятора на основе силикатов бария	Ю. А. Федоровских Б. В. Шульгин В. Г. Чухланцев Г. А. Емельченко Ф. Ф. Гаврилов	Состав $\text{Ba}_2\text{Zr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ln}$, $\text{Ba}_2\text{Hf}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}:\text{Ln}$
12.	321893	1971	Люминесцирующее вещество	А. К. Борисов Е. И. Крылов Б. В. Шульгин	Состав EuTiNbO_6
13.	323429	1971	Люминесцирующий состав на основе соединения элементов третьей группы	Е. И. Крылов А. К. Борисов Б. В. Шульгин	Состав $\text{Y}_{1-x}\text{Eu}_x\text{TiNbO}_6$
14.	336290	1972	Стекло	А. Л. Шаляпин В. Г. Чухланцев Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов Ю. А. Федоровских	Состав $\text{SiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-Na}_2\text{O}:\text{Ln}$
15.	336624	1972	Спектрометрический формирователь	В. И. Власов Б. С. Новисов Е. Н. Панков	
16.	338867	1972	Устройство для формирования спектрометрического импульса	Д. А. Пулин Б. С. Новисов А. П. Зырянов В. Л. Власов	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
17.	353578	1972	Способ получения неорганического люминофора на основе дицирконо- или дигафнотрисиликата бария, активированного окислами редкоземельных элементов	Ю. А. Федоровских Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов В. Г. Чухланцев	Состав $Ba_2Zr_2Si_3O_{12}:Ln$, $Ba_2Hf_2Si_3O_{12}:Ln$
18.	363288	1972	Способ выращивания монокристаллов	В. Д. Пирогов Ф. Ф. Гаврилов С. О. Чолах Г. И. Пилипенко Б. В. Шульгин А. И. Слесарев	Состав LiD
19.	370563	1973	Вещество для термолюминесцентного дозиметра рентгеновского излучения	Б. В. Шульгин Ю. А. Федоровских Ф. Ф. Гаврилов Ю. М. Полежаев В. М. Ульянов	Оксид $ZrSiO_4:Eu_2O_3$
20.	382034	1973	Вещество для термолюминесцентного дозиметра рентгеновского излучения	М. Я. Ходос Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов А. А. Фотиев	Состав $YVO_4:Ln_2O_3$
21.	392769	1973	Рабочее вещество термолюминесцентного дозиметра	Б. В. Шульгин А. П. Зырянов Е. Г. Морозов К. К. Ривкина Б. В. Синицин	Состав SrF_2 Ln_2O_3
22.	396644	1973	Рабочее вещество термолюминесцентного дозиметра	С. О. Чолах В. Д. Пирогов Ф. Ф. Гаврилов Б. В. Шульгин Ю. П. Кочерга Г. И. Пилипенко	Состав $LiH:Bi, Sn, Mg$
23.	401231	1973	Сцинтилляционный комптоновский гамма спектрометр	Д. А. Пулин Б. С. Новисов	
24.	403030	1973	Дифференциальный дискриминатор	Д. А. Пулин Б. С. Новисов В. Н. Махов В. Н. Шалимов Б. С. Широков	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
25.	403315	1973	Неорганический люминофор на основе окислов кальция и ванадия	Н. И. Кордюков Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов А. А. Фотиев	Состав CsCaVO_4
26.	403316	1973	Люминесцирующий состав на основе окислов тантала с применением активатора – европия	А. К. Борисов Е. И. Крылов Б. В. Шульгин В. В. Казанцев	Состав EuTiTaO_6
27.	403317	1973	Люминесцирующий состав на основе окислов циркония и кремния, активированных редкоземельными элементами	Ю. А. Федоровских Ю. М. Полежаев Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов Г. А. Емельченко	Состав $\text{ZrSiO}_4:\text{Ln}$
28.	405454	1973	Устройство отбора спектрометрических импульсов по форме	Д. А. Пулин Б. С. Новисов В. Н. Махов	
29.	417061	1973	Рабочее вещество для термоэлектронного дозиметра	В. С. Кортков Б. В. Шульгин А. И. Гаприндашвили А. Ф. Зацепин	Состав BeO:Eu
30.	417063	1973	Рабочее вещество для термолюминесцентного дозиметра	В. К. Слепухин Е. И. Крылов Б. В. Шульгин В. И. Рогович А. К. Борисов В. В. Казанцев	Состав $\text{TiO}_2 \cdot \text{Nb}_2\text{O}_5$ Ta_2O_5
31.	426578	1974	Спектрометр для регистрации гамма - излучений	Д. А. Пулин Б. С. Новисов В. Н. Махов М. Н. Светлов	
32.	430736	1974	Сцинтиллятор на основе гидрида лития	Ф. Ф. Гаврилов Г. И. Терентьев Б. В. Шульгин С. О. Чолах	Состав LiH:CeF_3
33.	436032	1974	Люминесцирующее стекло	И. А. Дмитриев А. Ф. Зацепин Б. В. Шульгин А. Л. Шаляпин	Состав $\text{SiO}_2 \cdot \text{BeO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Eu}_2\text{O}_3$

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
34.	436609	1974	Неорганическое вещество для сцинтиллятора	Б. В. Шульгин Ю. А. Федоровских Ф. Ф. Гаврилов Ю. М. Полежаев О. Г. Шориков	Состав $ZrSiO_4:Ln$
35.	439215	1974	Сцинтиллятор для регистрации ионизирующих излучений	В. М. Жуковский Г. И. Терентьев Т. М. Янушкевич Б. В. Шульгин	Состав $Zn_3Mo_2O_9:Ln$
36.	442696	1974	Способ получения люминофора на основе гидрида лития	Ф. Ф. Гаврилов В. Д. Пирогов С. О. Чолах Б. В. Шульгин	Состав $LiH:Mg,Bi$
37.	447092	1974	Вещество для термолюминесцентного дозиметра	Г. А. Емельченко Б. В. Шульгин Л. Н. Демьянец А. Н. Лобачев	Состав $Na_2O-Ln_2O_3-GeO_2$
38.	453912	1974	Стекло	А. Ф. Зацепин Б. В. Шульгин И. А. Дмитриев Г. В. Репин	Состав $SiO_2 \cdot BeO \cdot CaF_2 \cdot Al_2O_3 \cdot Eu_2O_3$
39.	463641	1975	Стекло	И. А. Дмитриев А. Ф. Зацепин А. Л. Шаляпин Б. В. Шульгин А. Г. Шпаков Н. М. Степанов	Состав SiO_2 $Al_2O_3 \cdot BeO \cdot CaF_2$ Nd_2O_3
40.	473139	1975	Рабочее вещество для термолюминесцентного дозиметра рентгеновского излучения на основе гидрида лития	Г. И. Терентьев Ф. Ф. Гаврилов Б. В. Шульгин Ю. М. Крикливый	Состав $LiH:CeF_3$
41.	481867	1975	Устройство формирования спектрометрического сигнала	Д. А. Пулин Б. С. Новисов А. С. Максименко А. И. Коссе	
42.	488496	1975	Сцинтиллятор для регистрации альфа-, бета-излучений	Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов В. Г. Чухланцев В. В. Илюхин Н. В. Школа	Состав $Ca_3ZrSi_2O_9:$ La, Ti, Pb

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
43.	490355	1975	Сцинтиллятор для регистрации ионизирующих излучений	Б. В. Шульгин В. Г. Чухланцев В. В. Илюхин К. В. Алямовская Г. И. Терентьев	Состав $\text{Na}_{14}\text{ZrSi}_{10}\text{O}_{31}$ с РЗЭ или $\text{Na}_{14}\text{HfSi}_{10}\text{O}_{31}$ с РЗЭ
44.	534131	1976	Спектрометрический формирователь	Б. С. Новисов А. С. Максименко О. В. Игнатьев Н. Ф. Школа	
45.	536133	1976	Стекло для оптического квантового генератора	А. А. Фотиев А. Д. Галактионов М. Я. Ходос А. П. Штин Б. В. Шульгин А. Г. Шпаков В. В. Макаров Н. М. Степанов	Состав K_2O Na_2O Al_2O_3 Nb_2O_5 Nd_2O_3
46.	541136	1976	Скважинное оптическое устройство	С. В. Волковецкий Е. М. Королев Г. В. Бадьин В. Л. Петров В. В. Шульгин	Определение содержания асбеста в скважине
47.	555803	1976	Стекло для оптических квантовых генераторов	А. А. Фотиев А. Д. Галактионов М. Я. Ходос А. П. Штин Б. В. Шульгин А. Г. Шпаков В. В. Макаров Н. М. Степанов	Состав P_2O_5 Al_2O_3 Li_2O (K_2O - Na_2O) YVO_4 Nd_2O_3
48.	576293	1977	Стекло	А. Ф. Зацепин И. А. Дмитриев В. С. Старцев	
49.	577804	1977	Рентгенолюминофор	В. Л. Петров Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов В. Г. Бамбуров В. Г. Кронгауз	Состав YOF:Tb
50.	581698	1977	Рабочее вещество для термолумinesцентного дозиметра нейтронов	А. П. Зырянов Б. В. Шульгин К. К. Ривкина	Состав $\text{SrF}_2:\text{Dy, Tb}$

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
51.	587665	1977	Способ выращивания монокристаллов со структурой берилла	А. Ф. Зацепин Б. В. Шульгин И. А. Дмитриев В. С. Старцев	Состав BeO Al_2O_3 SiO_2 MgCl_2 MgF_2
52.	598318	1977	Стекло для лазеров	В. С. Старцев Б. В. Шульгин А. Ф. Зацепин А. В. Кружалов И. А. Дмитриев	Состав P_2O_5 BeO CaO или MgO Nd_2O_3
53.	615760	1978	Рабочее вещество термолюминесцентного дозиметра на основе гидрида лития	Г. И. Терентьев Ф. Ф. Гаврилов О. И. Тютюнник Б. В. Шульгин Т. А. Бетенекова С. О. Чолах	Состав LiH:Ge,Cr
54.	625178	1978	Скважинное оптическое устройство	Г. В. Бадьин Б. В. Шульгин Ю. А. Ковязин	Определение содержания асбеста
55.	641794	1978	Рабочее вещество для термолюминесцентного дозиметра	Т. А. Бетенекова С. О. Чолах Г. И. Терентьев Ф. Ф. Гаврилов Б. В. Шульгин В. А. Пустоваров	Состав Li-OH:EuF_3
56.	642957	1978	Рабочее вещество для термолюминесцентного дозиметра тепловых нейтронов	Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов Г. И. Терентьев А. П. Зырянов	Состав ^6LiH , $^7\text{LiH:Bi}$, CeF_3
57.	643021	1978	Рабочее вещество для термоэлектронной дозиметрии	М. В. Василенко В. С. Кортков А. В. Кружалов А. И. Гаприндашвили Б. В. Шульгин Г. В. Букин В. Н. Матросов	Состав BeO , Al_2O_3
58.	664366	1979	Люминофор на основе окислов циркония и кремния	Т. И. Полупанова Ф. Ф. Гаврилов В. Г. Чухланцев Б. В. Шульгин В. В. Илюхин	Состав $\text{Na}_4\text{Zr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\cdot\text{Ti}$
59.	671520	1979	Неорганический сцинтиллятор	Л. В. Викторов Б. В. Шульгин А. Л. Шаляпин К. Н. Гиниятулин А. Ф. Гаврилин	Состав Na_2O ZrO_2 SiO_2 Eu_2O_3 Sm_2O_3

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
60.	671673	1979	Аналого-цифровой преобразователь	Д. А. Пулин Б. С. Новисов В. Н. Махов В. Г. Тишин М. Н. Андронов	
61.	678954	1979	Рабочее вещество для термоэлектронной дозиметрии	М. В. Василенко В. С. Кортон А. В. Кружалов А. И. Гаприндашвили Б. В. Шульгин Г. В. Букин В. Н. Матросов	Состав BeO-La ₂ O ₃
62.	693975	1979	Шихта для получения берилла	И. А. Дмитриев А. Ф. Зацепин А. В. Павлович	
63.	701299	1979	Спектрометрический формирователь	А. С. Максименко Б. С. Новисов Н. Ф. Школа О. В. Игнатьев	
64.	702857	1979	Быстрый неорганический сцинтиллятор	Л. В. Викторов А. В. Кружалов Б. В. Шульгин В. А. Маслов Г. В. Букин	Состав BeO-Cr ₂ O ₃
65.	705881	1979	Устройство для анализа формы спектрометрических импульсов	Б. С. Новисов А. Д. Пулин Е. М. Сулимов А. С. Максименко	
66.	722417	1979	Рабочее вещество для термолюминесцентной дозиметрии рентгеновского излучения	Т. И. Полупанова Б. В. Шульгин В. Г. Чухланцев Ф. Ф. Гаврилов Л. В. Викторов А. П. Елисеев	Состав ZrO ₂ ·SiO ₂ ·Na ₂ O
67.	722861	1979	Стекло	Н. Ф. Федоров В. В. Ипатов О. В. Квятковский Е. Г. Семин Б. В. Шульгин В. П. Палванов	Состав La ₂ O ₃ MgO MoO ₃ Nd ₂ O ₃

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
68.	723470	1979	Рабочее вещество для термозкзоми- сионного дозиметра рентгеновского излучения	Б. В. Шульгин Т. И. Красненко В. С. Кортков А. А. Фотиев А. И. Гаприндашвили Б. В. Слободин	Состав $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2$
69.	738453	1980	Неорганический сцинтиллятор	Б. В. Шульгин К. К. Ривкина Л. В. Викторов И. П. Паздников Н. И. Журавлев В. А. Коновалов В. С. Старцев	Состав $\text{SrF}_2 \cdot \text{CeF}_3 \cdot \text{EuF}_3$ ($\text{DyF}_3, \text{TbF}_3$)
70.	743407	1980	Рабочее вещество для термолуминес- центного дозиметра тепловых нейтронов	Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов О. И. Тютюнник К. Ф. Гаврилов Г. И. Терентьев С. О. Чолах	Состав ^6LiH , $^7\text{LiH}:\text{Eu}, \text{CeF}_3$
71.	743420	1980	Спектротметрический усилитель	Н. Ф. Школа О. В. Игнатьев Б. С. Новисов Ю. А. Шевченко	
72.	752210	1980	Линейный спектротметрический усилитель	О. В. Игнатьев Н. Ф. Школа В. П. Гиманов Б. С. Новисов	
73.	753046	1980	Стекло	В. Л. Викторов В. С. Старцев Б. В. Шульгин А. В. Кружалов В. В. Евстигнеев	Состав $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{BaO} \cdot \text{CeO}_2 \cdot$ BeO
74.	769945	1980	Стекло	В. П. Палванов В. К. Слепухин Л. В. Викторов Б. В. Шульгин А. П. Штин А. С. Портнягин	Состав $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Ce}_2\text{O}_3$ $\cdot \text{Y}_2\text{O}_3$
75.	776328	1980	Голографическое устройство хранения и вывода информации	В. Н. Махов	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
76.	785824	1980	Рабочее вещество для термолюминесцентного дозиметра рентгеновского излучения	М. В. Василенко А. В. Кружалов Б. В. Шульгин Г. В. Букин	Состав $\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$
77.	790191	1980	Импульсный усилитель	А. И. Коссе В. П. Гиманов О. В. Игнатьев Н. Ф. Школа Б. С. Новисов	
78.	801242	1980	Аналого-цифровой преобразователь	В. Н. Махов	
79.	803674	1980	Спектрометрический усилитель	Н. Ф. Школа О. В. Игнатьев Б. С. Новисов Ю. А. Шевченко А. И. Коссе	
80.	805487	1980	Аналого-цифровой преобразователь	В. Н. Махов А. В. Жуков О. В. Игнатьев Н. Ф. Школа Н. Н. Мельник Б. С. Новисов	
81.	805488	1980	Аналого-цифровой преобразователь	В. Н. Махов А. В. Жуков О. В. Игнатьев Н. Ф. Школа Н. Н. Мельник Б. С. Новисов	
82.	809972	1980	Быстрый неорганический сцинтиллятор	Л. В. Викторов Г. А. Емельченко Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов В. Т. Ушаковский	Состав $\text{ZnO}:\text{Li}$
83.	815489	1980	Устройство для измерения угла поворота объектов	Р. Д. Мухамедяров Н. С. Дудоров Ю. А. Ковязин В. А. Новиков Б. В. Шульгин	
84.	820437	1980	Вещество для термозлектроэлектронного дозиметра	А. Ф. Зацепин В. С. Кортон М. С. Аксельрод И. И. Мильман Г. И. Пилипенко	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
85.	824103	1980	Скважинное оптическое устройство	Г. В. Бадьин Н. В. Распутин А. В. Шестаков Л. Г. Четверкин Б. В. Шульгин	Определение содержания асбеста
86.	826765	1981	Способ выращивания монокристаллов гидрида или дейтерида лития	О. И. Тютюнник Ф. Ф. Гаврилов Б. В. Шульгин Т. А. Бетенекова К. Ф. Гаврилов С. О. Чолах В. И. Тютюнник В. А. Пустоваров	Состав Li(H,D):Mg
87.	828642	1981	Люминесцирующее стекло	В. С. Старцев В. А. Ершов Ф. Ф. Гаврилов А. В. Кружалов Б. В. Шульгин В. Д. Урусов	Состав $\text{P}_2\text{O}_5\text{-BeO-BaO-Gd}_2\text{O}_3$
88.	832515	1981	Скважинное оптическое устройство	Р. Д. Мухомедьяров Б. В. Шульгин Н. В. Распутин В. Л. Петров В. И. Стук Г. В. Бадьин	Определение содержания асбеста
89.	833653	1981	Способ получения сцинтиллирующего фосфатного стекла	В. П. Палванов В. К. Слепухин Л. В. Викторов Б. В. Шульгин А. П. Штин	Фосфатное стекло
90.	837208	1981	Спектрометрический формирователь	А. И. Сергеев Б. С. Новисов А. С. Максименко А. Н. Ковшов В. Н. Махов	
91.	847802	1981	Рабочее вещество для термолюминесцентного дозиметра рентгеновского излучения	М. В. Василенко А. В. Кружалов Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов Г. В. Букин В. Н. Матросов	Состав Al_2BeO_4

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
92.	853973	1981	Стекло для лазеров	В. С. Старцев Б. В. Шульгин Л. В. Рабинович М. Л. Клебанов Ф. Ф. Гаврилов А. Р. Горощенко	Состав $P_2O_5 \cdot BaO \cdot BeO \cdot$ $Ce_2O_3 \cdot Nd_2O_3$
93.	856175	1981	Стекло для дозиметра	А. Ф. Зацепин В. С. Кортков А. И. Гаприндашвили	
94.	860432	1981	Сцинтиллирующее стекло	В. П. Палванов В. К. Слепухин Ф. Ф. Гаврилов Л. В. Викторов Б. В. Шульгин А. П. Штин	Состав $P_2O_5 \cdot Ce_2O_3 \cdot$ R_2O_3
95.	894860	1981	Аналого-цифровой преобразователь	А. В. Жуков В. Н. Махов Н. Н. Мельник	
96.	900706	1981	Неорганический сцинтиллятор	Б. В. Шульгин М. И. Тимошечкин Л. В. Викторов А. В. Кружалов В. А. Лобач	Состав $Y_3Al_5O_{12} : Ni, Cu$
97.	921325	1981	Термозкзоэлектрон- ный дозиметр	В. С. Кортков И. И. Мильман М. С. Аксельрод Н. К. Далиненко Р. А. Букина М. Р. Айнбунд	
98.	921328	1981	Быстрый неорганический сцинтиллятор	Л. В. Викторов А. В. Кружалов А. А. Маслаков В. Л. Петров Б. В. Шульгин В. Н. Матросов	Состав $La_2Be_2O_5 : Ce$
99.	932764	1981	Стекло	В. К. Слепухин В. П. Палванов А. П. Штин Б. В. Шульгин	Состав P_2O_5 $CaO \cdot MgO \cdot Eu_2O_3$

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
100.	940341	1982	Способ выращивания монокристаллов гидрида или дейтерида лития	О. И. Тютюнник Ф. Ф. Гаврилов Т. А. Бетенкова Б. В. Шульгин С. О. Чолах В. А. Тютюнник Н. А. Завьялов	Состав LiH или LiD
101.	987554	1982	Способ исследования скважин	Н. В. Распутин В. П. Князев В. Л. Петров Б. В. Шульгин С. В. Волковецкий Г. В. Бадьин	Определение содержания асбеста
102.	990669	1982	Способ определения редкоземельных элементов в соединениях галлия	Л. Д. Штенке А. В. Антонов Т. М. Хасанова Б. В. Шульгин	
103.	993728	1982	Способ термической обработки вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений на основе оксида алюминия	М. С. Аксельрод А. Ф. Зацепин В. С. Кортон И. И. Мильман	Состав Al_2O_3
104.	1005405	1982	Стекло	В. П. Палванов Л. В. Викторов В. К. Слепухин Б. В. Шульгин А. П. Штин	Состав $P_2O_5 \cdot K_2O \cdot Tb_2O_3$
105.	1012677	1982	Мессбауэровский спектрометр с резонансным детектором	М. Е. Вахонин С. М. Иркаев В. А. Семенкин В. В. Куприянов	
106.	1014124	1982	Устройство стабилизации исходного уровня	О. В. Игнатьев Н. Ф. Школа А. И. Коссе А. С. Максименко	
107.	1014379	1982	Резонансный детектор	С. М. Иркаев В. А. Семенкин В. В. Куприянов	
108.	1014380	1982	Мессбауэровский спектрометр	М. Е. Вахонин С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
109.	1014381	1983	Устройство управления доплеровским модулятором мессбауэровского спектрометра	М. Е. Вахонин С. М. Иркаев В. А. Семенкин В. В. Куприянов	
110.	1055751	1983	Радиolumинесцентный состав	А. Ф. Зацепин В. С. Кортков В. С. Андреев В. И. Ушкова Л. А. Благина	
111.	1059882	1983	Неорганический сцинтиллятор	Л. В. Викторов А. В. Кружалов В. П. Палванов В. Л. Петров М. И. Тимошечкин Б. В. Шульгин	Состав $Y_2O_3 \cdot Al_2O_3 \cdot Pr_2O_3$
112.	1064776	1983	Неорганический сцинтиллятор	Л. В. Викторов А. Р. Волков А. В. Кружалов Б. В. Шульгин А. Б. Соболев Б. В. Синицын	Состав Y_2O_3
113.	1070953	1983	Тигель для выращивания кристаллов гидрида лития	О. И. Тютюнник В. И. Тютюнник Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов Т. А. Бетенекова	
114.	1072461	1983	Вещество для твердотельного дозиметра	М. С. Аксельрод В. С. Кортков И. И. Мильман А. И. Мунчаев А. П. Чиркин	
115.	1073718	1983	Мессбауэровский спектрометр с регистрацией электронов	О. А. Гордеев С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин М. М. Соколов	
116.	1075756	1983	Способ получения кристаллов гидрида или дейтерида лития	Б. В. Шульгин Ф. Ф. Гаврилов О. И. Тютюнник В. И. Тютюнник	Состав LiH, LiD
117.	1082148	1983	Спектрометрический усилитель	Н. Ф. Школа О. В. Игнатьев Ю. А. Шевченко Г. А. Волков	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
118.	1088414	1983	Способ получения монокристаллов литиевых соединений	В. А. Пустоваров Н. А. Завьялов Т. А. Бетенекова Ф. Ф. Гаврилов С. О. Чолах В. М. Жуков	Состав Li_2CO_3
119.	1088501	1983	Неорганический сцинтиллятор	М. В. Жуковский А. П. Оконечников Л. В. Викторов Ф. Ф. Гаврилов Б. В. Шульгин	Состав (керамика) ZnO
120.	1090140	1984	Неорганический сцинтиллятор	С. Е. Аккузин Л. В. Викторов А. В. Кружалов А. Б. Соболев М. И. Тимошечкин Б. В. Шульгин	Состав Sc_2O_3
121.	1102355	1984	Рабочее вещество для термоэлектронного дозиметра ионизирующих излучений	А. Ф. Зацепин В. С. Кортков К. Ю. Пийр В. А. Калентьев Х. Ф. Кязэбре В. И. Ушкова	
122.	1106268	1984	Способ получения рабочего вещества для термолюминесцентного дозиметра рентгеновского и гамма-излучения	А. Я. Купряжкин В. А. Пустоваров И. Р. Шеин Т. А. Бетенекова С. О. Чолах	
123.	1106281	1984	Сцинтиллятор для тепловых нейтронов	Л. В. Викторов А. В. Кружалов Б. В. Шульгин М. В. Василенко О. А. Кеда М. И. Тимошечкин	Состав $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$
124.	1112902	1984	Способ обработки рабочего вещества твердотельного дозиметра ионизирующих излучений	А. Ф. Зацепин В. С. Кортков В. А. Калентьев В. И. Ушкова	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
125.	1112903	1984	Неорганический сцинтиллятор	В. Г. Архипов П. И. Булер А. В. Кружалов Ю. Д. Кручинин С. Н. Кубарев В. П. Палванов	Бариевые хру- стальные стек- ла
126.	1113358	1984	Способ определения редкоземельных элементов в соединениях галлия и иттрия	Л. Д. Штенке А. В. Антонов Б. В. Шульгин	Оксид Y_2O_3 GaO Tb_4O_7 Pr_2O_3 Eu_2O_3
127.	1114181	1984	Вещество твердо- тельного детектора ионизирующих излучений	А. Ф. Зацепин В. А. Калентьев В. С. Кортон Х. Ф. Кязмбре К. Ю. Пийр	Состав $Be_2SiO_4:Sm$
128.	1119459	1984	Рабочее вещество для термоэлектрон- ной дозиметрии гамма-излучения	А. В. Кружалов К. Н. Гиниятулин В. А. Маслов В. Т. Обухов И. А. Соболев Б. В. Шульгин	Состав BeO B_2O_3
129.	1119464	1984	Неорганический сцинтиллятор	Л. В. Викторов А. В. Кружалов Е. С. Лукин И. И. Нагаюк М. И. Тимошечкин Б. В. Шульгин Ю. А. Шумилов	Состав (кера- мика) Sc_2O_3
130.	1119468	1984	Мессбауэровский спектрометр	М. Е. Вахонин С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин	
131.	1124714	1984	Способ гамма- резонансной спектроскопии	С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин М. М. Соколов	
132.	1132609	1984	Способ получения кристаллов сцин- тилляторов на основе бериллата лантана	Л. В. Викторов А. В. Кружалов А. А. Маслаков В. Н. Матросов В. Л. Петров Б. В. Шульгин	Состав $La_2Be_2O_5$

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
133.	1136627	1984	Быстрый неорганический сцинтиллятор	Х. С. Багдасаров Л. В. Викторов О. А. Кеда А. М. Кеворков А. В. Кружалов М. И. Тимошечкин Б. В. Шульгин	Состав LiAlO_2
134.	1137789	1984	Способ герметизации кристалла LiH (LiD)	В. М. Жуков Т. А. Бетенекова С. О. Чолах Ф. Ф. Гаврилов Б. В. Шульгин	Состав LiH , LiD
135.	1144509	1984	Мессбауэровский спектрометр	М. Е. Вахонин С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин	
136.	1172252	1985	Рентгенолюминофор на основе ортофосфата иттрия	С. Л. Вотяков А. А. Краснобаев М. В. Саматов Б. В. Шульгин	Состав YPO_4
137.	1173522	1985	Устройство стабилизации исходного уровня	О. В. Игнатьев А. Д. Пулин Ю. А. Шевченко Н. Ф. Школа	
138.	1185839	1985	Способ получения монокристаллического термолуминофора	К. Н. Гиниятулин С. В. Горбунов А. В. Кружалов Б. В. Шульгин В. А. Маслов Г. В. Букин	Состав $\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{WO}_3$ Al_2O_3 BeO $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{WO}_3$
139.	1190234	1985	Способ определения толщины нарушенного слоя твердых тел	А. Ф. Зацепин В. А. Калентьев В. С. Кортон В. И. Ушкова А. А. Поплавский Ю. М. Захаров	
140.	1190759	1985	Способ регулирования диапазонов скорости в мессбауэровском спектрометре	М. Е. Вахонин С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин	
141.	1211273	1985	Композиции для декоративного покрытия	В. Н. Шульгин Б. В. Шульгин	Состав KNO_3

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
142.	1225432	1985	Способ контроля величины объемного заряда в диэлектриках	В. С. Кортон А. С. Портягин И. И. Мильман А. И. Слесарев О. В. Аброськин	
143.	1227012	1985	Вещество термоэлектронно-эмиссионного дозиметра рентгеновского излучения	В. М. Жуковский В. С. Кортон А. Л. Кругляшов Е. С. Буянова А. Ф. Зацепин В. В. Тюков	
144.	1259831	1986	Неорганический сцинтиллятор и способ его изготовления	Х. С. Багдасаров Л. В. Виктор А. Р. Волков А. В. Кружалов В. В. Осико А. М. Прохоров М. И. Тимошечкин Б. В. Шульгин	Состав $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$
145.	1264719	1986	Рабочее вещество для термоэлектронного эмиттера	А. А. Алыбаков В. С. Кортон А. И. Сурдо К. Ш. Шаршеев Б. В. Шульгин	Способ $\text{LiNaSO}_4:\text{Cr}$
146.	1266185	1986	Люминесцентный состав для регистрации рентгеновского излучения	М. Г. Зуев Ф. А. Рождественский А. А. Фотиев	Состав $\text{Ta}_2\text{O}_5\text{--Ln}_2\text{O}_3\text{--Y}_2\text{O}_3$
147.	1267907	1986	Фотолюминесцентный дозиметр протонного излучения	М. В. Жуковский В. С. Андреев Ф. Ф. Гаврилов А. П. Оконечников	Состав $\text{ZnO}:\text{Li}$
148.	1274472	1986	Тканезквивалентный термолюминесцентный детектор	В. Р. Бичев В. И. Готлиб В. Л. Гребенщиков М. М. Грубе В. М. Крутик Е. А. Немиро М. С. Аксельрод В. С. Кортон И. И. Мильман	
149.	1277767	1986	Спектрометрический формирователь	А. И. Сергеев А. С. Максименко С. Б. Дубленных	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
150.	1289224	1986	Неорганический сцинтиллятор	Х. С. Багдасаров Л. В. Викторов С. М. Ерухимович А. М. Кеворков А. В. Кружалов В. С. Старцев Б. В. Шульгин	Состав CaAl_4O_7
151.	1290996	1986	Устройство автома- тической установки порогового уровня напряжения	О. В. Игнатьев А. Д. Пулин Ю. А. Шевченко Н. Ф. Школа	
152.	1294120	1985	Спектрометрический формирователь	А. И. Сергеев А. С. Максименко	
153.	1304584	1986	Неорганический сцинтиллятор	А. А. Алыбаков С. М. Ерухимович М. М. Кидибаев В. С. Старцев Б. В. Шульгин	Состав $\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$
154.	1304585	1986	Неорганический сцинтиллятор	Б. В. Шульгин Е. В. Ткаченко В. С. Старцев Н. А. Лаишевцева В. Т. Габриелян	Состав $\text{PbMo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_4$
155.	1317995	1987	Способ выращивания кристаллов дейтерида лития	В. М. Жуков Т. А. Бетенекова Н. А. Завьялов А. Л. Красовский М. В. Куц В. А. Пустоваров С. О. Чолах Б. В. Шульгин	Состав LiD
156.	1322830	1987	Неорганический сцинтиллятор	Х. С. Багдасаров Л. В. Викторов С. М. Ерухимович А. М. Кеворков А. В. Кружалов В. С. Старцев Б. В. Шульгин	Состав $\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19}$
157.	1334955	1985	Спектрометрический формирователь	А. И. Сергеев А. С. Максименко	
158.	1336734	1985	Спектрометрический формирователь	А. И. Сергеев А. С. Максименко	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
159.	Заявка 3913577	1986	Блок регистрации термолюминесцент- ного дозиметра	М. С. Аксельрод В. С. Кортон И. И. Мильман В. Р. Бичев В. И. Готлиб Л. М. Затуловский Д. Я. Кравецкий	
160.	1340365	1987	Способ получения профилированных монокристаллов ок- сида алюминия для термолюминесцент- ной дозиметрии	Л. М. Затуловский Д. Я. Кравецкий М. С. Аксельрод В. С. Кортон И. И. Мильман В. И. Готлиб В. Р. Бичев К. К. Шварц	Состав Al_2O_3
161.	1340367	1985	Спектрометрический формирователь	А. И. Сергеев А. С. Максименко С. Б. Дубленных А. Л. Сарафанов	
162.	1345951	1987	Рабочее вещество для термоэозлек- тронного эмиттера	В. А. Калентьев В. С. Кортон А. Ф. Зацепин	
163.	1347729	1987	Способ обработки вещества твердо- тельного детектора ионизирующих излу- чений на основе ок- сида алюминия	В. С. Кортон И. И. Мильман А. И. Сюрдо М. С. Аксельрод Ю. Д. Афонин	Состав Al_2O_3
164.	1351078	1987	Люминофор для ви- зуализации синхро- тронного излучения в области вакуумно- го ультрафиолета	В. А. Пустоваров В. Л. Петров В. В. Волков Б. В. Шульгин С. Т. Дунаев Э. И. Зинин	Органика 6,9-бис- пиридино-нидо- декаборан(14)
165.	1367567	1987	Способ обработки ювелирных вставок из монокристаллов изумруда	В. В. Грановский А. В. Кружалов А. Ф. Ласковенков В. С. Никитин В. Л. Петров Т. И. Полупанова Б. В. Шульгин В. В. Зимин	Изумруд

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
166.	1369528	1987	Способ обработки рабочего вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений на основе вольфрамата натрия-лантана	В. М. Жуковский Е. С. Буюнова В. С. Кортков А. Ф. Зацепин Ю. В. Шапова	
167.	1378605	1987	Устройство для обнаружения сигналов	А. И. Сергеев А. С. Максименко Б. В. Шульгин	
168.	1380465	1987	Сцинтиллятор для тепловых нейтронов	В. Ф. Каргин Б. В. Шульгин В. М. Скориков В. С. Старцев Ю. Ф. Каргин Е. П. Набережная И. В. Просолонко	Состав фосфат стронция, гадолиния
169.	1382206	1987	Неорганический сцинтиллятор	М. М. Кидибаев А. А. Алыбаков Л. В. Викторов А. В. Кружалов Б. В. Шульгин	Состав $\text{NaF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$, CuF_2
170.	1382207	1987	Неорганический сцинтиллятор	А. В. Кружалов А. М. Коровкин Л. В. Викторов А. Р. Кулесский Б. В. Шульгин	Состав $\text{Sc}_2\text{SiO}_5\text{:Gd}$
171.	1387803	1987	Способ определения потенциала, создаваемого радиационным зарядом в твердых телах	В. А. Калентьев Ф. М. Клинов А. Ф. Зацепин В. С. Кортков	
172.	1391317	1987	Способ обработки вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений	В. А. Калентьев А. Ф. Зацепин В. С. Кортков Ф. М. Клинов	
173.	1404944	1987	Способ контроля прочности и механических напряжений в поверхностных слоях стекла после ионообменной обработки	В. С. Кортков А. Ф. Зацепин В. В. Тюков Е. В. Соболев О. В. Щеглова И. В. Казявина	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
174.	1422938	1988	Устройство автоматической установки порогового уровня напряжения	А. И. Сергеев А. С. Максименко Б. В. Шульгин	
175.	1482254	1989	Способ термообработки кристаллов германата висмута	А. В. Кружалов С. И. Бузмакова (Горкунова) Л. В. Викторов А. Р. Волков В. Л. Петров Т. И. Полупанова Б. В. Шульгин Н. В. Бузовкина Ю. Ф. Каргин В. М. Скориков	Термо обработка $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$
176.	1505211	1989	Устройство для сцинтилляционных измерений	В. Я. Арбузов А. В. Кружалов Б. В. Шульгин В. М. Скориков А. Л. Крымов	Состав $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$
177.	1510022	1989	Способ измерения токов и напряжений электрометрической лампой	А. С. Портнягин В. С. Кортон И. И. Мильман А. И. Слесарев	
178.	1512024	1989	Способ обработки стеклянного вещества твердотельного дозиметра ионизирующих излучений	Ю. Ф. Журавлев А. Ф. Зацепин В. С. Кортон Ю. В. Щапова В. А. Губанов	
179.	1517573	1989	Неорганический сцинтиллятор	А. В. Кружалов А. М. Коровскин Л. В. Викторов А. Р. Кулесский Б. В. Шульгин Е. С. Кучурин	Состав $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}, \text{Tb}$
180.	1545494	1989	Способ управления экзотермической активностью поверхности щелочно-силикатных стекол	Л. Б. Глебов А. Ф. Зацепин С. К. Евстропьев В. С. Кортон Н. В. Никоноров В. В. Тюков	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
181.	1549392	1989	Термоэлектронный эмиттер	А. А. Алыбаков О. М. Арботоев В. С. Кортон А. И. Сюрдо Б. В. Шульгин	Состав LiH_2PO_4 $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
182.	1550925	1989	Люминофор для визуализации синхротронного излучения в области вакуумного ультрафиолета	В. В. Волков С. Т. Дунаев Э. И. Зинин Е. А. Ильинчик В. Л. Петров В. А. Пустоваров В. С. Старцев Б. В. Шульгин	Органика 6,9-бис-(3,4-диметилпиридин)-нидо-декаборан (12)
183.	1558251	1989	Способ изготовления КМОП-схем	С. В. Чекунков О. А. Водопьянов С. Л. Журавлева Т. М. Стахеева Ю. А. Ушаков	
184.	1559909	1989	Термолюминесцентный дозиметр	С. М. Ярухимович В. С. Старцев Б. В. Шульгин В. Т. Обухов И. А. Соболев Х. С. Багдасаров А. М. Кеворков	Алюминат $\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19}$
185.	1570509	1990	Термолюминофор	М. М. Кидибаев А. А. Алыбаков Б. К. Кенжебаев В. С. Старцев С. М. Ерухимович Б. В. Шульгин	Фторид LiF:U,Ti
186.	1582850	1990	Способ термообработки кристаллов германата висмута	А. Р. Волков Б. В. Шульгин А. В. Кружалов В. Л. Петров В. М. Скорилов	Термообработка $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$
187.	1589762	1990	Способ приготовления образцов для рентгенофлуоресцентного анализа	А. Д. Галактионов Н. М. Макаров Б. В. Шульгин В. М. Корус	
188.	1594157	1990	Эмалевый шликер	Е. И. Шатравка А. Ф. Зацепин	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
189.	1646397	1991	Устройство для измерения угловых и зарядовых распределений пучка заряженных частиц	Г. Д. Ведьманов С. М. Мельников К. О. Хохлов	
190.	1649971	1989	Способ изготовления КМОП-интегральных схем	С. В. Чекунов О. А. Водопьянов С. Л. Журавлева В. А. Стахеев Ф. Г. Нешов А. А. Пузанов Т. М. Пяткова	Опубл. 20.12.2005
191.	1668377	1991	Шихта для получения кристаллофосфора	В. Ю. Иванов Б. В. Шульгин А. В. Кружалов В. А. Маслов	Состав $\text{BeO} \cdot \text{ZnO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Na}_2\text{WO}_4$
192.	1717566	1991	Стекло для микроканальных пластин	А. Ф. Зацепин В. С. Кортон С. В. Мурашов А. М. Тютиков Ю. В. Шапова	
193.	Заявка 4926600 /25	1991	Вещество для комбинированного ТЛ-ЭПР твердотельного детектора ионизирующих излучений	Б. В. Кокшаров В. К. Кениг В. С. Кийко В. Г. Гоффман В. С. Кортон И. И. Мильман А. И. Слесарев	
194.	1745779	1992	Способ получения монокристаллов ортогерманата висмута	Ю. Ф. Каргин В. В. Волков А. Я. Васильев В. М. Скориков А. Р. Волков Л. В. Викторов Б. В. Шульгин В. Л. Петров Н. В. Бузовкина И. А. Тале	Состав $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}:\text{Li}$
195.	1780281	1992	Керамика на основе оксида бериллия	Л. В. Викторов В. С. Кийко Б. В. Кокшаров В. К. Кениг А. П. Балуева В. В. Пантелеев	Керамика $\text{BeO}-\text{Li}_2\text{O}-\text{Nd}_2\text{O}_3$

1	2	3	4	5	6
196.	1780420	1992	Вещество для комбинированного ТЛ-ЭПР твердотельного детектора ионизирующих излучений	Б. В. Кокшаров В. К. Кениг В. С. Кийко В. Г. Гофман В. С. Кортон И. И. Мильман А. И. Слесарев	Состав BeO–Li ₂ O– Nd ₂ O ₃
197.	1814393	1992	Шихта для получения термолюминофора	А. А. Алыбаков З. М. Казакбаева М. М. Кидибаев И. Н. Огородников Б. В. Шульгин	Состав NaF:U,Pb
Зарубежные патентные документы					
198.	10745-1987 GB (Великобритания)	1977	Method of gamma-ray resonance spectroscopy	S. M. Irkaev V. V. Kupriyanov V. A. Semionkin M. M. Sokolov	
199.	PV 7264-86 ЧССР (Чехословакия)	1986	Мессбауэровский спектрометр	М. Е. Вахонин С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин	
200.	PV 7341-86 ЧССР (Чехословакия)	1986	Способ гамма-резонансной спектроскопии	С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин М. М. Соколов	
201.	73671 НРБ (Болгария)	1986	Способ гамма-резонансной спектроскопии	С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин М. М. Соколов	
202.	76746 НРБ (Болгария)	1986	Мессбауэровский спектрометр	М. Е. Вахонин С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин	
203.	WPG 01T/295 238-4-1986 ГДР (Германия)	1986	Способ гамма-резонансной спектроскопии	С. М. Иркаев В. В. Куприянов В. А. Семенкин М. М. Соколов	
204.	Fr 2616539-B1, 8708228 (Франция)	1988	Spectrometere de mossbauer	М. Е. Вахонин С. М. Иркаев V. V. Kupriyanov V. A. Semionkin	

Наличие защищенных авторскими свидетельствами объектов интеллектуальной собственности в области оптических, лазерных, термолюми-

несцентных, сцинтилляционных, эмиссионных (экзоэлектроны) кристаллических и стеклянных сред указывает на инновационный подход к научному творчеству, к научным исследованиям, проводимым на кафедрах ЭФ и ФМПК. Начало их изобретательской деятельности, как видно из табл. 1, относится к 1968 году. С этого момента до вступления в силу нового патентного закона РФ (№ 3517 от 13.09.1992), т. е. за 25 лет, было сделано более 200 изобретений, защищенных а. с. СССР, в среднем по 8, а иногда и 16 (в 1987 г.) изобретений в год. Предложено более 100 новых оптических материалов многоцелевого назначения. В обобщенном виде сведения о них приведены ниже (табл. 2) в сравнении с данными ведущих мировых школ (США и Голландия) о сцинтилляционных материалах. Сравнительный анализ этих сведений указывает на высокую результативность проводимых в УрФУ разработок новых оптических материалов, соответствующих мировому уровню.

Таблица 2

История создания новых сцинтилляционных материалов

Год	Разработки США*	Разработки Делфтского университета, Нидерланды**	Разработки УрФУ, Россия	
1	2	3	4	
1896	CaWO_4	—	—	
1902	ZnS:Ag	—	—	
1947	NaI:Tl	—	—	
1949	CdWO_4 CsI:Tl	—	—	
1952	CsF CsI	—	—	
1953	LiI:Eu	—	—	
1958	Силикатное стекло, активированное Ce	—	—	
1965	$\text{CaF}_2\text{:Eu}$ ZnO:Ga CdS:In	—	—	
1967	CsI:Na	—	—	
1968	—	—	$\text{Na}_2\text{HfSiO}_5\text{:Ln}$ $\text{Na}_2\text{ZrSiO}_5\text{:Ln}$	а. с. 238058 а. с. 238058
1969	BaF_2 (медл.)	—	$\text{Ba}_2\text{HfSi}_3\text{O}_9\text{:Ln}$ $\text{Ba}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9\text{:Ln}$	а. с. 245252 а. с. 245252

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
1971	—	—	$Y_{0,5}Eu_{0,5}TiNbO_6$ a. c. 323429 $EuTiNbO_6$ a. c. 321893 $LiH:Bi,Mg$ a. c. 318302 $Ba_2Hf_2Si_3O_{12}:Ln$ a. c. 320520 $Ba_2Zr_2Si_3O_{12}:Ln$ a. c. 320520
1972	$Bi_4Ge_3O_{12}$	—	$SiO_2 \cdot ZrO_2 \cdot Na_2O:Ln$ a. c. 336290 $Ba_2HfSi_3O_{12}:Ln$ a. c. 353578 $Ba_2ZrSi_3O_{12}:Ln$ a. c. 353578
1973	—	—	$EuTiTaO_6$ a. c. 403316 $CsCaVO_4$ a. c. 353578 $ZrSiO_4:Ln$ a. c. 403317
1974	—	—	$SiO_2 \cdot BeO \cdot CaF_2 \cdot Al_2O_3 \cdot Eu_2O_3$ a. c. 453912 $SiO_2 \cdot BeO \cdot MgO \cdot Al_2O_3 \cdot Eu_2O_3$ a. c. 436032 $Zn_3Mo_2O_9:Ln$ a. c. 439215 $LiH:CeF_3$ a. c. 430736 $ZrSiO_4:Ln$ a. c. 436609
1975	—	—	$Na_{14}Hf_2Si_{10}O_{31}:Ln$ a. c. 490355 $Na_{14}ZrSi_{10}O_{31}:Ln$ a. c. 490355 $Ca_3ZrSiO_9:Ln,Tl,Pb$ a. c. 488496
1976	$YAlO_3:Ce$	—	—
1977	—	—	$YOF:Tb$ a. c. 577804
1978	BaF_2 (быстр.)	—	—
1979	—	—	$Ca_3(VO_4)$ a. c. 723470 $BeO:Cr_2O_3$ a. c. 702857 $ZrO_2 \cdot SiO_2 \cdot Na_2O$ a. c. 722417 $Na_2ZrSiO_5:Eu,Sn$ a. c. 671502 $Na_2Zr_2Si_3O_{12}:Ti$ a. c. 664366
1980	—	—	$SrF_2 \cdot CeF_3:(Eu,Gd,Dy,Tb)F_3$ a. c. 738453 $P_2O_5 \cdot K_2O \cdot Ce_2O_3 \cdot Y_2O_3$ a. c. 769945 $ZnO:Li$ a. c. 809972 $BeO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ a. c. 785824 ${}^6LiH \cdot {}^7LiH:Eu,Gd,CeF_3$ a. c. 743407
1981	—	—	$P_2O_5 \cdot Ce_2O \cdot R_2O_3 \cdot R_2O_3$ a. c. 860432 $P_2O_5 \cdot Cs_2O \cdot Y_2O_3 \cdot Ce_2O_3$ a. c. 833653 $P_2O_5 \cdot K_2O \cdot Y_2O_3 \cdot Ce_2O_3$ a. c. 833653 $P_2O_5 \cdot BeO \cdot BaO \cdot Gd_2O_3$ a. c. 828642 $La_2Be_2O_5:Ce$ a. c. 921328 $Y_3Al_5O_{12}:Ni,Cu$ a. c. 900706 $Li(H,D):Mg$ a. c. 826765
1982	—	—	$P_2O_5 \cdot K_2O \cdot Tb_2O_3$ a. c. 1005405 Y_2O_3 a. c. 106476

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
1983	(Y,Gd) ₂ O ₃ :Ce	—	ZnO-керамика Y ₂ O ₅ ·Al ₂ O·Pr ₂ O ₃ LiH и LiD а. с. 1088501 а. с. 1059882 а. с. 1075756
1984	—	—	Sc ₂ O ₃ -керамика Gd ₃ Sc ₂ Al ₃ O ₁₂ Sc ₂ O ₃ LiAlO ₂ а. с. 1119464 а. с. 1106281 а. с. 1090140 а. с. 1136627
1985	—	—	YPO ₄ а. с. 1172252
1986	—	—	PbMo _{1-x} W _x O ₄ CaAl ₄ O ₇ Lu ₃ Al ₅ O ₁₂ LiF:UO ₂ (NO ₃) ₂ а. с. 1304585 а. с. 1289224 а. с. 1259831 а. с. 1304584
1987	CeF ₃	—	NaF:UO ₂ (NO ₃) ₂ CuF ₂ Sr ₃ Y _{1-x} Gd _x PO ₄ CeMgAl ₁₁ O ₁₉ Sc ₂ SiO ₅ :Gd LiD а. с. 1382206 а. с. 1380465 а. с. 1322830 а. с. 1382207 а. с. 1317995
1988	PbWO ₄	BaF ₂	—
1989	—	BaF ₂ :La LaF ₃ :Nd	BGO (синтез) Y ₂ SiO ₅ : Ce,Tb а. с. 1482254 а. с. 1517573
1990	Lu ₂ SiO ₅ :Ce	BaF ₂ :Ce	BGO (синтез) а. с. 1582850
1991	—	KMgF ₃ KYF ₄ K ₂ YF ₅ KLuF ₄	BaO·ZnO·MgO·Na ₂ WO ₄ а. с. 1668377
1992	LuAlO ₃ :Ce	ZnSe:Te CsGd ₂ F ₇ :Ce CsGd ₂ F ₇ :Pr K ₂ YF ₅ :Pr Y ₃ Al ₅ O ₁₂ :Pr	BGO : Li а. с. 1582850
1993	—	Lu ₂ SiO ₅ :Ce	—
1995	—	LiBaF ₃ K ₂ LaCl ₅ :Ce	—
1996	RbGd ₂ Br ₇ :Ce	LiYF ₄ :Ce LiLuF ₄ :Ce Lu ₃ (Al,Sc) ₅ O ₁₂ :Pr	AgCl-AgBr-AgI-Tl AgCl-AgBr-AgI пат. 2066464 пат. 2065614
1997	—	LuAlO ₃ :Ce RbGd ₂ Br ₇ :Ce	LiKSO ₄ : Cu пат. 2094823
1998	—	Lu ₂ S ₃ :Ce	—

1	2	3	4
1999	—	BaY ₂ F ₈ :Ce Lu ₂ Si ₂ O ₇ :Ce LuCl ₃ :Ce LuBr ₃ :Ce Cs ₂ LiYCl ₆ :Ce	—
2000	LaCl ₃ :Ce	LaCl ₃ :Ce	Ag(Cl,Br,I):Ti,Cr,Eu,Ce пат. 2154290
2001	LaBr ₃ :Ce	LaBr ₃ :Ce GdBr:Ce	—
2002	нет данных*	LuPO ₄ :Nd YPO ₄ :Nd Cs ₂ LiYBr ₆ :Ce	—
2003	нет данных*	LaI ₃ :Ce LuI ₃ :Ce K ₂ LaBr ₅ :Ce K ₂ LaI ₅ :Ce Cs ₃ LuCl ₆ :Ce	—
2005	нет данных*	нет данных**	CaF ₂ :Eu,He пат. 2244320
2006	нет данных*	нет данных**	AgCl-AgBr-AgI-Tl пат. 2284044 CaF ₂ :Eu,He пат. 2276387 LiF:UO ₂ (NO ₃) ₂ ,He пат. 2270463
2007	нет данных*	нет данных**	Волокна BGO пат. 2303798 Шаровой сцинт. Lu ₂ SiO ₅ :Ce пат. 2297015 Пластик + ⁶ Li-стекло пат. 2300782 NaF:YbF ₃ ,U,O пат. 2297648
2008	нет данных*	нет данных**	BGO + ⁶ Li-стекло пат. 2323453
2009	нет данных*	нет данных**	Стильбен + ⁶ Li-стекло пат. 2347241 NaF:U,Sc,Cu пат. 2357273 AgCl-AgBr-AgI-Tl пат. 2361239 Zn _{2-x} Mn _x SiO ₄ нанокompозит пат. 2364614 (Na,K,Li) ₂ SO ₄ :Cu пат. 2370788
2010	нет данных*	нет данных**	MgAl ₂ O ₄ , Al ₂ O ₃ :SiO ₂ нано пат. 2382810 (Al _x Mg _{1-x}) ₂ O ₃ нано пат. 2397196 K _{2-x} Na _x SO ₄ заявка 2010116448 SrF ₂ :Tb,Dy заявка 2010122939

Примечание:

* По данным М. Вебера (Weber M. J. // J. Luminescence. 2002. Vol. 100. P. 35 – 45);

** По данным П. Доренбоса (Dorenbos P. // Proc. of the KEK RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Nuclear Physics, KEK, Tsukuba, Japan. 2003. P. 15 – 34).

В перечне авторских свидетельств на изобретения, табл. 1, информация о них расположена в хронологическом порядке. Для удобства пользования справочным материалом ниже приведен тематический указатель к перечню. Тематика изобретений включает в себя несколько блоков.

Блок 1. «Составы». Люминесцентные, сцинтилляционные, термолюминесцентные, термоэксзоэмиссионные и другие оптические функциональные материалы многоцелевого назначения на базе кристаллов и стекол (100 изобретений): авторские свидетельства СССР №№ 221429, 321893, 323429, 336290, 370363, 382034, 392769, 396644, 403315, 403316, 403317, 417061, 417063, 430736, 436032, 436609, 439215, 447092, 453912, 463641, 473139, 488496, 490355, 536133, 555803, 576293, 577804, 581698, 598318, 615760, 641794, 642957, 643021, 664366, 671520, 678954, 693975, 702857, 722417, 722861, 723470, 738453, 743407, 753046, 769945, 785824, 809972, 820437, 828642, 847802, 853973, 856175, 860432, 900706, 921325, 921328, 932764, 1005405, 1055751, 1059882, 1064776, 1072461, 1088501, 1090140, 1102355, 1106281, 1112903, 1114181, 1119459, 1119464, 1136627, 1172252, 1211273, 1227012, 1259831, 1264719, 1266185, 1267907, 1274472, 1289224, 1304584, 1304585, 1322830, 1345951, 1351078, 1380465, 1382206, 1382207, 1517573, 1549392, 1550925, 1559909, 1570509, 1594157, 1668377, 1717566, заявка 4926600, 1780281, 1780420, 1814393.

Блок 2. «Способы». Способы получения новых оптических материалов многоцелевого назначения, способы выращивания кристаллов и способы получения стекол (38 изобретений): авторские свидетельства СССР №№ 238058, 245252, 318302, 320520, 353578, 363288, 442696, 587665, 826765, 833653, 940341, 990669, 993728, 1070953, 1075756, 1088414, 1106268, 1112902, 1113358, 1132609, 1137789, 1185839, 1190234, 1225432, 1317995, 1340365, 1347729, 1367567, 1369528, 1387803, 1391317, 1404944, 1482254, 1512024, 1545494, 1582850, 1589762, 1745779.

Блок 3. «Устройства». Устройства электроники и оптоэлектроники, детекторные устройства, сцинтилляционные спектрометры (48 изобретений), организатором первых разработок был старший преподаватель Д. А. Пулин (работал на кафедре ЭФ с 1954 года по 1984 год): авторские свидетельства №№ 99348, 265018, 269343, 272445, 290529, 291590, 336624, 338867, 401231, 403030, 405454, 426578, 481867, 534131, 541136, 625178, 671673, 701299, 705881, 743420, 752210, 776328, 790191, 801242, 803674,

805487, 805488, 815489, 824103, 832515, 837208, 894860, 987554, 1014124, 1277767, 1290996, 1294120, 1334955, 1336734, 3913577, 1340367, 1378605, 1422938, 1505211, 1510022, 1558251, 1646397, 1649971.

Блок 4. «Устройства». Мессбауэровские спектрометры (11 авторских свидетельств СССР и 7 зарубежных патентных документов на разработки в области мессбауэровской спектроскопии, выполненные под руководством ведущего научного сотрудника УрФУ В. А. Семёнкина): авторские свидетельства №№ 1012677, 1014379, 1014360, 1014381, 1073718, 1082148, 1119468, 1124714, 1154509, 1173522, 1190759 и 7 патентных зарубежных документов (позиции 198-204 в табл. 1, заявитель Институт аналитического приборостроения РАН, г. Санкт-Петербург).

Всего рассмотрено 197 авторских свидетельств и 7 зарубежных патентных документов, перечень которых был приведен выше в хронологическом порядке.

ПЕРЕЧЕНЬ ПАТЕНТНЫХ ДОКУМЕНТОВ РФ

Перечень патентных документов РФ на изобретения и полезные модели в области новых оптических материалов и устройств, разработанных в УрФУ с момента вступления в силу нового патентного закона РФ (№ 3517 от 13.09.1992) по 2010 г., приведен ниже.

Перечень патентов на изобретения:

1. Пат. 2034278 РФ. Способ контроля лучевой прочности поверхности оптических материалов / Л. Б. Глебов, А. Ф. Зацепин, В. С. Кортков, Н. В. Никоноров, В. В. Тюков, В. И. Ушкова. Заявл. 26.12.1990; опубл. 30.04.1995.
2. Пат. 2045041 РФ. Способ контроля качества кварцевых ПАВ-резонаторов / Г. Н. Галанов, А. Ф. Зацепин, В. С. Кортков, А. С. Лучинин, А. П. Мальцев, В. В. Тюков, В. И. Ушкова. Заявл. 11.07.1991; опубл. 27.09.1995.
3. Пат. 2054186 РФ. Способ изготовления чувствительного вещества для термoluminescentного твердотельного детектора ультрафиолетового излучения / В. С. Кортков, И. И. Мильман, А. В. Монахов, А. И. Слесарев. Заявл. 16.08.1991; опубл. 10.02.1996.
4. Пат. 2061275 РФ. Устройство для легирования поверхности детали ионным пучком / Г. Д. Ведьманов, Е. А. Ковальский, К. О. Хохлов. Заявл. 25.02.1992; опубл. 27.05.1996.
5. Пат. 2062464 РФ. Способ контроля параметров оптического волноводного слоя / А. Ф. Зацепин, В. С. Кортков, Н. В. Никоноров, В. В. Тюков. Заявл. 29.08.1991; опубл. 20.06.1996.
6. Пат. 2065177 РФ. Способ дозиметрии гамма-, рентгеновского излучений и электронных потоков / А. Ф. Зацепин, В. С. Кортков, Г. Н. Галанов, А. С. Лучинин, В. В. Тюков. Заявл. 03.02.1992; опубл. 10.08.1996.
7. Пат. 2065614 РФ. Кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-1 / Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Б. В. Шульгин, Г. А. Китаев, Л. Ф. Гаврилов, С. И. Бузмакова. Заявл. 31.05.1994; опубл. 20.08.1996. Бюл. № 23.
8. Пат. 2066464 РФ. Кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-2 / Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Б. В. Шульгин, Г. А. Китаев, Л. Ф. Гаврилов, Л. В. Викторов. Заявл. 31.05.1994; опубл. 10.09.1996. Бюл. № 25.
9. Пат. 2081950 РФ. Способ окрашивания кристаллов природного берилла и изделий из них / А. В. Кружалов, Т. И. Полупанова, Б. В. Шульгин, А. Ф. Ласковенков. Заявл. 17.03.1995; опубл. 20.06.1997. Бюл. № 17.
10. Пат. 2085967 РФ. Стабилизатор базовой линии спектрометра / О. В. Игнатьев, С. В. Дудин, А. Д. Пулин. Заявл. 31.03.1995; опубл. 27.07.1997. Бюл. № 21.
11. Пат. 2088952 РФ. Детектор для регистрации ионизирующего излучения / Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, С. И. Горкунова, В. Л. Петров, И. А. Садовенко. Заявл. 23.02.1995; опубл. 27.08.1997. Бюл. № 24.
12. Пат. 2092872 РФ. Процессор спектрометрических импульсов / О. В. Игнатьев, С. В. Дудин, А. Д. Пулин. Заявл. 09.11.1995; опубл. 10.10.1997. Бюл. № 28.

13. Пат. 2094823 РФ. Неорганический сцинтиллятор / Б. В. Шульгин, В. И. Соломонов, С. Г. Михайлов, В. В. Осипов, В. Л. Петров, Д. Б. Шульгин. Заявл. 23.02.1995; опубл. 27.10.1997. Бюл. № 30.
14. Пат. 2098842 РФ. Устройство таймирования спектрометрических импульсов / О. В. Игнатьев, С. В. Дудин, А. Д. Пулин. Заявл. 22.12.1995; опубл. 10.12.1997. Бюл. № 34.
15. Пат. 2107279 РФ. Способ определения пористости ядерных мембран / Ю. Г. Лазарев, Ф. Г. Нешов, Б. В. Шульгин, А. В. Кружалов, В. И. Радченко. Заявл. 17.07.1996; опубл. 20.03.1998. Бюл. № 8.
16. Пат. 2129318 РФ. Устройство для измерения угловых распределений пучка ионов / Г. Д. Ведьманов, И. Р. Мухаметдинов, К. О. Хохлов. Заявл. 19.02.1997; опубл. 20.04.1999.
17. Пат. 2140660 РФ. Способ обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений / Л. В. Викторов, А. В. Кружалов, А. С. Шеин, Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин. Заявл. 10.02.1998; опубл. 27.10.1999. Бюл. № 30.
18. Пат. 2142147 РФ. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. И. Коссе, Е. Г. Ситников. Заявл. 24.09.1997; опубл. 27.11.1999. Бюл. № 33.
19. Пат. 2143711 РФ. Детектор для регистрации ионизирующих излучений / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, В. С. Андреев, О. В. Игнатьев, В. Л. Петров, Ю. Г. Лазарев, Д. Б. Шульгин. Заявл. 06.04.1999; опубл. 27.12.1999. Бюл. № 36.
20. Пат. 2148837 РФ. Неорганический сцинтиллятор / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, М. М. Кидибаев, К. Шаршеев, М. К. Сатыбалдиева. Заявл. 19.04.1999; опубл. 10.05.2000. Бюл. № 13.
21. Пат. 2154290 РФ. Сцинтилляционный световод / Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Б. В. Шульгин, Ю. Н. Макурин. Заявл. 11.05.1999; опубл. 10.08.2000. Бюл. № 22.
22. Пат. 2158011 РФ. Детектор для регистрации нейтронов и гамма-излучения / Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, Д. Б. Шульгин, Е. Г. Ситников, Д. В. Райков, Ф. Г. Плаксин. Заявл. 04.06.1998; опубл. 20.01.2000. Бюл. № 29.
23. Пат. 2189057 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронного и гамма-излучения / О. В. Игнатьев, Б. В. Шульгин, А. Д. Пулин, В. С. Андреев, Л. В. Викторов, В. Л. Петров, Д. В. Райков. Заявл. 13.11.2000; опубл. 10.09.2002. Бюл. № 25.
24. Пат. 2190240 РФ. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, Т. С. Королева, В. Л. Петров, Д. В. Райков, Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Д. Б. Шульгин. Заявл. 13.11.2000; опубл. 27.09.2002. Бюл. № 27.
25. Пат. 2199607 РФ. Способ обработки циркониевых сплавов / А. В. Матвеев, Т. А. Бельх, В. И. Перехожев, Л. П. Синельников, А. В. Кружалов, Ф. Г. Нешов, А. Г. Трифанов. Заявл. 07.07.2000; опубл. 27.02.2003.
26. Пат. 2229145 РФ. Способ обработки вещества твердотельного детектора ионизирующих излучений на основе оксида алюминия / В. С. Кортков, И. И. Мильман, С. В. Никифоров. Заявл. 03.02.2003; опубл. 20.05.2004.
27. Пат. 2231809 РФ. Детектор нейтронного и гамма-излучений / О. В. Игнатьев, Б. В. Шульгин, А. Д. Пулин, В. Л. Петров, Д. Б. Шульгин, Д. В. Райков, А. А. Пулин. Заявл. 01.07.2002; опубл. 27.06.2004. Бюл. № 18.

28. Пат. 2242024 РФ. Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений / Л. В. Викторов, К. В. Ивановских, Ю. Г. Лазарев, В. Л. Петров, А. С. Шеин, Б. В. Шульгин. Заявл. 30.06.2003; опубл. 10.12.2004. Бюл. № 34.
29. Пат. 2242025 РФ. Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, В. Л. Петров, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 11.09.2003; опубл. 10.12.2004. Бюл. № 34.
30. Пат. 2243573 РФ. Способ изготовления сцинтилляционных экранов для визуализации рентгеновского излучения / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Ф. Г. Нешов, Ю. А. Ушаков, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 23.07.2003; опубл. 27.12.2004. Бюл. № 36.
31. Пат. 2244320 РФ. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, Д. В. Райков, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева. Заявл. 30.06.2003; опубл. 10.01.2005. Бюл. № 1.
32. Пат. 2248011 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор рентгеновского излучения / Б. В. Шульгин, Л. В. Жукова, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов. Заявл. 07.07.2003; опубл. 10.03.2005. Бюл. № 7.
33. Пат. 2248588 РФ. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, А. И. Коссе, В. И. Соломонов, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 25.04.2003; опубл. 20.03.2005. Бюл. № 8.
34. Пат. 2251124 РФ. Спектрометрический датчик электронного и бета-излучения / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, Т. С. Королева. Заявл. 14.10.2003; опубл. 27.03.2005. Бюл. № 12.
35. Пат. 2259573 РФ. Сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, В. И. Арбузов, К. В. Ивановских, Л. В. Викторов, А. Н. Черепанов, В. С. Андреев, В. Л. Петров, А. В. Кружалов, В. В. Соколкин. Заявл. 23.03.2004; опубл. 27.08.2005. Бюл. № 24.
36. Пат. 2261459 РФ. Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, Т. С. Королева, С. Pedrini, С. Dujardin. Заявл. 29.01.2004; опубл. 27.09.2005. Бюл. № 27.
37. Пат. 2262722 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, С. Pedrini, В. Hautefeuille, О. Tillement, К. Lebbou, J.-M. Fourmigue. Заявл. 29.01.2004; опубл. 20.10.2005. Бюл. № 29.
38. Пат. 2264634 РФ. Шихта для получения термолуминофора / Б. В. Шульгин, Т. С. Королева, А. Н. Черепанов, М. М. Кидибаев. Заявл. 23.03.2004; опубл. 20.11.2005. Бюл. № 32.
39. Пат. 2269802 РФ. Способ изготовления инфракрасного светофильтра / В. Ю. Иванов, Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, Е. Г. Голиков, А. В. Кружалов, Ф. Г. Нешов, В. Л. Петров. Заявл. 28.07.2004; опубл. 10.02.2006. Бюл. № 4.
40. Пат. 2270462 РФ. Термолуминесцентный дозиметрический комплекс / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, В. Ю. Иванов, А. И. Слесарев, А. В. Анипко, Б. К. Джолдошов, С. Pedrini, В. Hautefeuille, J. -M. Fourmigue. Заявл. 28.07.2004; опубл. 20.02.2006. Бюл. № 5.

41. Пат. 2270463 РФ. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, С. В. Маркс, В. Л. Петров. Заявл. 16.11.2004; опубл. 20.02.2006. Бюл. № 5.
42. Пат. 2272301 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов / Д. В. Райков, Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, А. В. Кружалов, А. Н. Черепанов, В. Л. Петров, П. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 16.11.2004; опубл. 20.03.2006. Бюл. № 8.
43. Пат. 2275655 РФ. Способ повторного измерения дозиметрического термолуминесцентного сигнала в твердотельных детекторах ионизирующих излучений / В. С. Кортон, И. И. Мильман, С. В. Никифоров, Е. В. Моисейкин. Заявл. 16.06.2004; опубл. 27.04.2006. Бюл. №10.
44. Пат. 2276387 РФ. Сцинтиллятор для регистрации нейтронов / К. В. Ивановских, В. Ю. Иванов, В. Л. Петров, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 30.12.2004; опубл. 10.05.2006. Бюл. № 13.
45. Пат. 2277234 РФ. Радиолуминесцентный излучатель ВУФ-диапазона / К. В. Ивановских, Б. В. Шульгин, В. А. Пустоваров, В. Л. Петров, А. Н. Черепанов, П. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 21.03.2005; опубл. 27.05.2006. Бюл. № 15.
46. Пат. 2282212 РФ. Рабочее вещество для термоэлектронной дозиметрии гамма- и электронного излучения / А. И. Слесарев, Б. В. Шульгин, Ю. Д. Афонин, А. В. Сергеев, А. В. Анипко, Д. А. Бекетов, А. Н. Черепанов. Заявл. 04.05.2005; опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.
47. Пат. 2282214 РФ. Способ изготовления гетероструктур / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, В. Ю. Иванов, Ф. Г. Нешов, П. И. Буйлин, Е. Г. Голиков, Б. К. Джолдошов, С. Pedrini, K. Lebbou. Заявл. 04.05.2005; опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.
48. Пат. 2284044 РФ. Кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-3 / Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин, В. В. Жуков, С. И. Горкунова, Д. В. Райков, А. И. Чазов, А. В. Сергеев. Заявл. 13.05.2005; опубл. 20.09.2006. Бюл. № 26.
49. Пат. 2288485 РФ. Способ термолучевой подготовки к экспозициям термолуминесцентных детекторов ионизирующих излучений на основе оксида алюминия / В. С. Кортон, И. И. Мильман, С. В. Никифоров, Е. В. Моисейкин. Заявл. 18.07.2005; опубл. 17.11.2006. Бюл. № 33.
50. Пат. 2297015 РФ. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, А. И. Коссе, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, А. А. Чудиновских. Заявл. 08.02.2006; опубл. 10.04.2007. Бюл. №10.
51. Пат. 2297648 РФ. Способ получения сцинтиллирующего состава для регистрации нейтрино / Б. В. Шульгин, Г. С. Денисов, Е. В. Вараксина, В. Ю. Иванов, А. В. Ищенко, Т. С. Королева, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов. Заявл. 26.12.2005; опубл. 20.04.2007. Бюл. №11.
52. Пат. 2300782 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов / В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, А. В. Кружалов, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 08.08.2005; опубл. 10.06.2007. Бюл. №16.
53. Пат. 2303276 РФ. Способ термохимической обработки рабочего вещества термолуминесцентного детектора на основе кристаллов оксида бериллия / А. В. Кружалов, С. В. Горбунов, В. Ю. Иванов, И. И. Мильман, И. Н. Огородников, Д. С. Таусенев, Б. В. Шульгин. Заявл. 06.05.2006; опубл. 20.07.2007. Бюл. №20.

54. Пат. 2303278 РФ. Сцинтилляционный детектор / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, А. В. Ищенко, Д. В. Райков, С. Б. Смирнов, В. Л. Петров. Заявл. 25.04.2006; опубл. 20.07.2007. Бюл. №20.
55. Пат. 2303798 РФ. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, А. В. Анипко, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, J-M. Fourmigue, С. Pedrini, K. Lebbou, С. Dujardin. Заявл. 10.10.2005; опубл. 27.07.2007. Бюл. №21.
56. Пат. 2308056 РФ. Сцинтилляционный детектор / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, С. В. Маркс, А. В. Анипко, С. Б. Смирнов, Н. С. Мезенина. Заявл. 09.03.2006; опубл. 10.10.2007. Бюл. №28.
57. Пат. 2309457 РФ. Модель нейронной сети / К. Н. Шевченко, Н. В. Шевченко, Б. В. Шульгин. Заявл. 06.05.2006; опубл. 27.10.2007. Бюл. №30.
58. Пат. 2310889 РФ. Устройство для измерения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции / И. И. Мильман, С. В. Никифоров, Е. В. Моисейкин, И. Г. Ревков. Заявл. 07.08.2006; опубл. 20.11.2007. Бюл. № 32.
59. Пат. 2312061 РФ. Способ получения нитевидного нитрида алюминия / Ю. Д. Афонин, А. Р. Бекетов, А. В. Анипко, В. Б. Малков, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 25.04.2006; опубл. 10.12.2007. Бюл. №34.
60. Пат. 2315231 РФ. Способ изготовления инфракрасного светофильтра / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, А. В. Анипко, Д. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 22.06.2006; опубл. 20.01.2008. Бюл. №2.
61. Пат. 2323453 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, К. О. Хохлов, В. Ю. Иванов, А. В. Кружалов, В. Л. Петров, В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, К. Педрины, Ж. -М. Фурмиге. Заявл. 03.11.2006; опубл. 27.04.2008. Бюл. №12.
62. Пат. 2331086 РФ. Рабочее вещество для термoeкoeлектронной дозиметрии / А. И. Слесарев, В. Ю. Иванов, А. В. Ищенко, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, А. В. Чепкасова, М. Кобаяши. Заявл. 09.04.2007; опубл. 10.08.2008. Бюл. №22.
63. Пат. 2334998 РФ. Способ комбинированного считывания накопленной дозиметрической информации из твердотельных детекторов ионизирующих излучений на основе монокристаллического оксида бериллия / И. И. Мильман, А. В. Кружалов, В. Ю. Иванов, Д. С. Таусенев. Заявл. 02.04.2007; опубл. 27.09.2008. Бюл. 27.
64. Пат. 2336294 РФ. Сложный ванадат серебра в качестве люминофора в красной и ближней инфракрасной области свечения и способ его получения / В. Г. Зубков, А. П. Тютюнник, Л. Л. Сурат, Б. В. Слободин, Н. В. Таракина, Б. В. Шульгин, А. В. Ищенко. Заявл. 20.07.2006; опубл. 20.10.2008. Бюл. №29.
65. Пат. 2345274 РФ. Способ получения сверхдлительного ультрафиолетового послесвечения люминофоров оптических излучателей на основе BeO и $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$ / А. В. Кружалов, В. Ю. Иванов, И. И. Мильман, Д. В. Райков, Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, И. В. Харитонов. Заявл. 10.05.2007, опубл. 27.01.2009. Бюл. №3.
66. Пат. 2346296 РФ. Способ измерения дозы в твердотельных детекторах ионизирующих излучений на основе оксида алюминия, накопленной при повышенной температуре окружающей среды / И. И. Мильман, Е. В. Моисейкин, С. В. Никифоров, И. Г. Ревков, Е. Н. Литовченко, С. В. Соловьев. Заявл. 16.07.2007, опубл. 10.02.2009. Бюл. №4.

67. Пат. 2347241 РФ. Детектор для регистрации ионизирующих излучений / Б. В. Шульгин, А. И. Коссе, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, Г. П. Малиновский. Заявл. от 26.11.2007; опубл. 20.02.2009. Бюл. №5.
68. Пат. 2347741 РФ. Способ получения нанокристаллических покрытий на основе нанокристаллов фторида лития или фторида натрия / А. Н. Черепанов, Е. Г. Голиков, В. Ю. Иванов, А. В. Кружалов, Ф. Г. Нешов, В. Л. Петров, Б. В. Шульгин, Ю. Ю. Упорова, М. М. Кидибаев, В. Г. Пушин, Н. В. Николаева, В. Б. Малков. Заявл. от 27.08.2007; опубл. 27.02.2009 Бюл. № 6.
69. Пат. 2348923 РФ. Способ обнаружения наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия на подложке / Б. В. Шульгин, Р. М. Кадушников, А. Н. Черепанов, Ю. Ю. Упорова, А. В. Ищенко, В. Б. Малков. Заявл. от 21.11.2007; опубл. 10.03.2009. Бюл. №7.
70. Пат. 2348976 РФ. Многофункциональный модуль / А. Н. Черепанов, К. Н. Шевченко, Н. В. Шевченко. Заявл. 08.02.2007; опубл. 10.03.2009. Бюл. №7.
71. Пат. 2357273 РФ. Способ получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, И. И. Мильман, А. В. Кружалов, Ю. Ю. Упорова, А. В. Ищенко, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 11.02.2008; опубл. 27.05.2009. Бюл. №15.
72. Пат. 2357385 РФ. Измеритель тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки / К. О. Хохлов, Ю. И. Матяш. Заявл. 04.02.2008; опубл. 27.05.2009. Бюл. № 15.
73. Пат. 2361239 РФ. Способ получения волоконных сцинтилляторов / Л. В. Жукова, А. Н. Черепанов, Н. В. Примеров, А. С. Корсаков, Б. В. Шульгин, А. И. Чазов, В. В. Жуков. Заявл. 07.04.2008; опубл. 10.07.2009. Бюл. №19.
74. Пат. 2364614 РФ. Люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал / В. С. Кортков, А. Ф. Зацепин, С. В. Звонарев, В. В. Иванов, А. С. Кайгородов, В. Р. Хрустов. Заявл. 25.06.2008, опубл. 20.08.2009 Бюл. № 23.
75. Пат. 2370788 РФ. Неорганический сцинтиллятор / М. М. Кидибаев, К. Шаршеев, У. К. Мамытбеков, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 02.06.2008; опубл. 20.10.2009. Бюл. №29.
76. Пат. 2372641 РФ. Высоковольтный стабилизатор постоянного напряжения / К. О. Хохлов, А. А. Чудиновских. Заявл. 04.02.2008; опубл. 10.11.2009. Бюл. № 31.
77. Пат. 2378665 РФ. Способ определения поглощенной дозы бета-излучения в термолюминесцентном детекторе на основе анионо-дефектного монокристалла оксида алюминия / А. С. Вохминцев, И. А. Вайнштейн, В. С. Кортков. Заявл. 24.11.2008, опубл. 10.01.2010 Бюл. № 1.
78. Пат. 2378666 РФ. Устройство для определения поглощенной дозы бета-излучения в термолюминесцентном детекторе на основе анионо-дефектного монокристалла оксида алюминия / А. С. Вохминцев, И. А. Вайнштейн, В. С. Кортков. Заявл. 24.11.2008, опубл. 10.01.2010 Бюл. № 1.
79. Пат. 2382810 РФ. Люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал / В. С. Кортков, А. Ф. Зацепин, В. А. Пустоваров, С. В. Звонарев, В. В. Иванов, А. С. Кайгородов, Ю. А. Котов, В. Р. Хрустов. Заявл. 09.04.2008, опубл. 27.02.2010 Бюл. № 6.

80. Пат. 2383579 РФ. Способ получения люминесцентного наноструктурного композиционного керамического материала / В. В. Иванов, А. С. Кайгородов, В. Р. Хрустов, В. С. Кортон, А. Ф. Зацепин, С. В. Звонарев. Заявл. 25.06.2008, опубл. 10.03.2010 Бюл. № 7.
81. Пат. 2386112 РФ. Способ измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы / А. Н. Черепанов, А. А. Шолова, Б. В. Шульгин, А. В. Кружалов, Г. Я. Бучок, Р. М. Кадушников, Е. А. Макарова. Заявл. 26.02.2008; опубл. 10.04.2010. Бюл. №10.
82. Пат. 2392642 РФ. Способ увеличения быстродействия спектрометров ионизирующих излучений с полупроводниковыми и другими детекторами без внутреннего усиления / О. В. Игнатьев. Заявл. 20.04.2009, опубл. 20.06.2010. Бюл. № 17.
83. Пат. 2397196 РФ. Способ получения композиционного керамического материала (варианты) / В. В. Иванов, А. С. Кайгородов, Ю. А. Котов, В. Р. Хрустов, В. С. Кортон, А. Ф. Зацепин, В. А. Пустоваров, С. В. Звонарев. Заявл. 09.04.2008, опубл. 20.10.2009. Бюл. № 23.
84. Пат. 2399928 РФ. Способ возбуждения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции детекторов ионизирующих излучений на основе оксида алюминия / И. И. Мильман, А. В. Кружалов, Е. Н. Литовченко, Е. В. Моисейкин, И. Г. Ревков, С. В. Соловьев, А. И. Сурдо. Заявл. 23.03.2009; опубл. 20.09.2010. Бюл. № 26.
85. Пат. 2400774 РФ. Фотоприемное устройство / Ю. Н. Новосёлов, А. Н. Черепанов, С. О. Чолах, Б. В. Шульгин. Патентообладатель Физический институт РАН. Заявл. 12.08.2009; опубл. 27.09.2010. Бюл. №27.

Перечень патентов на полезные модели:

86. Свид-во 1756 РФ на полезную модель. Волоконно-оптический трековый детектор / Л. Ф. Гаврилов, Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин, Г. А. Китаев, В. В. Жуков, Л. В. Викторов. Заявл. 31.05.1994, опубл. 16.02.1996. Бюл. №2.
87. Пат. 98823 РФ на полезную модель. Мобильный комплекс радиационного контроля / А. С. Шеин, Л. В. Викторов, В. Л. Петров, Б. В. Шульгин. Заявл. 09.03.2010, опубл. 27.10.2010. Бюл. №30.
88. Пат. 98826 РФ на полезную модель. Сцинтилляционный детектор / А. В. Ищенко, Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, А. Н. Черепанов, В. И. Арбузов, В. Ю. Иванов, А. Ю. Дерстуганов. Заявл. 30.03.2010, опубл. 27.10.2010. Бюл. №30.
89. Пат. 100271 РФ на полезную модель. Устройство для обнаружения взрывчатых веществ / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов, В. Г. Гребняк, Ю. И. Чернухин, В. А. Терехин. Заявл. 30.06.2010, опубл. 10.12.2010. Бюл. №34.
90. Пат. 100294 РФ на полезную модель. Детектор нейтронов / Б. В. Шульгин, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов, А. Н. Черепанов, В. Г. Гребняк, В. В. Соколкин, А. В. Ищенко, В. М. Гадельшин. Заявл. 09.08.2010, опубл. 10.12.2010. Бюл. №34.
91. Пат. 100296 РФ на полезную модель. Базовый спектро-радиометрический модуль для мобильных комплексов радиационного контроля/ М. Н. Благовещенский,

А. Ю. Дерстуганов, Б. В. Шульгин, О. Н. Шутов. Заявл. 23.04.2010, опубл. 10.12.2010. Бюл. № 34.

92. Пат. 101772 РФ на полезную модель. Трубчатая светодиодная лампа / Е. В. Моисейкин, К. О. Хохлов, М. Л. Черный. Заявл. 09.02.2010; опубл. 27.01.2011. Бюл. № 3.
93. Пат. 102143 РФ на полезную модель. Единичная светодиодная лампа / Е. В. Моисейкин, К. О. Хохлов, М. Л. Черный. Заявл. 27.05.2010; опубл. 10.02.2011. Бюл. № 4.

Перечень опубликованных заявок на изобретение:

94. Заявка 96107590 РФ. Детектор быстрых нейтронов и гамма-лучей / Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, Л. В. Викторов, С. И. Горкунова, А. Л. Крымов, А. В. Кружалов, В. Л. Петров. Заявл. 18.04.1996, опубл. 27.07.1998.
95. Заявка 2008113784 РФ. Способ получения двуслойного волоконного сцинтиллятора / Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин, А. С. Корсаков, В. В. Жуков. Заявл. 08.04.2008, опубл. 20.10.2009. Бюл. № 29.
96. Заявка 2008124063 РФ. Рабочее вещество для термолуминесцентного детектора нейтронов / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, И. И. Мильман, А. В. Кружалов, Ю. Ю. Упорова, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 11.06.2008, опубл. 20.12.2009. Бюл. № 35.
97. Заявка 2009112115 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов / П. С. Маклаков, Б. В. Шульгин, С. В. Кортон, А. Н. Черепанов, В. В. Пиличев, А. Ю. Дерстуганов, А. В. Семенова. Заявл. 02.04.2009; опубл. 10.10.2010. Бюл. № 28.
98. Заявка 2009112116 РФ. Способ анализа спектров люминесценции / А. С. Таланов, С. В. Кортон, А. Н. Черепанов, В. В. Пиличев, А. В. Ищенко, А. В. Семенова. Заявл. 02.04.2009; опубл. 10.10.2010. Бюл. № 28.
99. Заявка 2009113053 РФ. Волоконный детектор / В. В. Бастриков, Н. С. Бастрикова, А. Н. Черепанов, В. В. Пиличев, А. В. Семенова. Заявл. 09.04.2009; опубл. 20.10.2010. Бюл. № 29.
100. Заявка 2009115049 РФ. Регулируемый стабилизатор постоянного напряжения / К. О. Хохлов, А. В. Балин. Заявл. 20.04.2009; опубл. 27.10.2010. Бюл. № 30.
101. Заявка 2009118698 РФ. Способ обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия / Э. З. Курмаев, Н. В. Гаврилов, Б. В. Шульгин, Д. А. Зацепин, А. И. Кухаренко, С. О. Чолах. Заявл. 18.05.2009, опубл. 27.11.2010. Бюл. №33 (положительное решение о выдаче патента на изобретение от 18.01.2011).
102. Заявка 2009115134 РФ. Способ определения профиля поглощенной дозы электронного излучения / Ф. Г. Нешов, И. О. Ананьев, Ю. Ю. Упорова, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, М. М. Кидибаев. Заявл. 20.04.2009, опубл. 27.10.2010. Бюл. №30.

Перечень поданных заявок на изобретения:

103. Заявка 2009131118 РФ. Наноразмерное анионо-дефектное вещество на основе оксида алюминия для люминесцентного дозиметра ионизирующих излучений /

- В. С. Кортков, Ю. А. Котов, А. И. Слесарев, А. И. Медведев. Заявл. 14.08.2009 (положительное решение о выдаче патента на изобретение от 13.01.2011 г.).
104. Заявка 2009139563 РФ. Дорожный знак / М. С. Попыванова, С. В. Кортков, Б. В. Шульгин, С. О. Чолах, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, А. В. Семенова. Заявл. 26.10.2009.
105. Заявка 2009139581 РФ. Корпус интегральной микросхемы / А. Г. Иванова, С. В. Кортков, Б. В. Шульгин, С. О. Чолах, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, К. О. Хохлов, А. В. Семенова. Заявл. 26.10.2009.
106. Заявка 2010104061 РФ. Способ контроля делящихся материалов / А. С. Шеин, Л. В. Викторов, А. Ю. Кузнецов, Ю. Н. Новоселов, Б. В. Шульгин, И. В. Глазачев, Ю. С. Калугина, С. О. Чолах. Заявл. 05.02.2010.
107. Заявка 2010104301 РФ. Устройство мониторинга электронного оборудования / Н. Е. Порывай, Г. К. Хохлов, К. О. Хохлов. Заявл. 08.02.2010.
108. Заявка 2010107507 РФ. Сцинтилляционный детектор для регистрации тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, А. В. Хохлов, В. С. Шевандин, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, И. И. Мильман. Заявл. 01.03.2010.
109. Заявка 2010116448 РФ. Двойной К-На сульфат в качестве рабочего вещества термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения и способ его получения / М. М. Кидибаев, К. Шаршеев, У. К. Мамытбеков, Г. С. Денисов, И. И. Мильман, Б. В. Шульгин, Д. Г. Лисиенко. Заявл. 26.04.2010.
110. Заявка 2010117133 РФ. Сцинтилляционный детектор электронного и бета-излучения / А. Н. Черепанов, Ю. И. Чернухин, В. А. Терехин, Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, И. А. Гофман, А. А. Лещев, О. С. Тесленко. Заявл. 29.04.2010.
111. Заявка 2010122939 РФ. Рабочее вещество для термоэлектронной дозиметрии / А. И. Слесарев, Б. В. Шульгин, А. Ю. Дерстуганов, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов. Заявл. 04.06.2010.
112. Заявка 2010123257 РФ. Зонд для сканирующей микроскопии / М. А. Мельников, С. В. Кортков, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, И. А. Гофман. Заявл. 07.06.2010.
113. Заявка 2010123259 РФ. Устройство для дезинфекции воды / А. В. Стихач, С. В. Кортков, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, А. А. Лещев, С. В. Звонарев. Заявл. 07.06.2010.
114. Заявка 2010123261 РФ. Охранная система / И. С. Маклаков, С. В. Кортков, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, Е. В. Попкова, Н. Г. Ларина, Н. С. Князев. Заявл. 07.06.2010.
115. Заявка 2010123270 РФ. Теплообменник / Я. А. Штейнберг, С. В. Храмцов, С. В. Кортков, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов. Заявл. 07.06.2010.
116. Заявка 2010123272 РФ. Способ определения скорости потока жидкости / А. А. Ямалудинов, С. В. Кортков, В. В. Пиличев, М. Е. Пиличева, А. Н. Черепанов, А. А. Русаков, И. С. Отрадно. Заявл. 07.06.2010.
117. Заявка 2010133473 РФ. Сцинтилляционный спектрометр нейтронов / Ю. И. Чернухин, В. А. Терехин, Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, М. Н. Благовещенский, В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, К. Педрины. Заявл. 09.08.2010.

118. Заявка на изобретение РФ. Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений / А. С. Шеин, Л. В. Викторов, Г. А. Кунцевич, В. Л. Петров, Б. В. Шульгин. Заявл. 2011.

Перечень поданных заявок на полезные модели:

119. Заявка на полезную модель 2010131144 РФ. Магнитотерапевтическая установка / А. П. Волобуев, П. В. Волобуев, С. Ф. Конев, Е. В. Усков, Б. В. Шульгин. Заявл. 26.07.2010, принято решение о выдаче патента 15.09.2010.
120. Заявка на полезную модель 2010151439 РФ. Детектор для регистрации ионизирующих излучений / Б. В. Шульгин, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов, А. Н. Черепанов, В. Г. Гребняк, А. В. Ищенко, Л. В. Викторов, В. Л. Петров, В. В. Соколкин, Е. М. Голубкин, О. С. Тесленко. Заявл. 14.12.2010 (принято решение о выдаче патента от 20.01.2011).
- 121.

Патентные документы: патенты на изобретения, патенты на полезные модели, а также заявки на изобретения и полезные модели, прошедшие формальную экспертизу ФИПС к моменту подготовки справочника к изданию, приведены в хронологическом порядке.

На большинство заявок на изобретения и полезные модели со временем были получены патенты, что отражено в настоящем издании 2015 года.

Для удобства пользования справочником ниже, как и в случае с авторскими свидетельствами, приведен тематический указатель патентных материалов, состоящий из трех блоков.

Блок 1. «Составы». Содержит сведения о люминесцентных и сцинтилляционных, термолюминесцентных, термоэкзоэмиссионных и других оптических функциональных материалах различной размерности: 1) Патенты РФ на изобретения №№ 2065614, 2066464, 2094823, 2264634, 2282212, 2284044, 2300782, 2303278, 2303798, 2308056, 2331086, 2336294, 2364614, 2370788, 2382810; 2) Опубликованные заявки на изобретения №№ 2008124063, 2009113053; 3) Заявки на изобретения №№ 2009131118, 2010116448, 2010122939.

Блок 2. «Способы». Содержит сведения о способах получения новых оптических функциональных материалов и способах их обработки, способах детектирования ионизирующих излучений: 1) Патенты РФ на изобретения №№ 2034278, 2045041, 2054186, 2062464, 2065177, 2081950, 2140660, 2199607, 2229145, 2242024, 2243573, 2269802, 2275655, 2282214,

2288485, 2297648, 2303276, 2312061, 2315231, 2334998, 2345274, 2346296, 2347741, 2348923, 2357273, 2361239, 2378665, 2383579, 2397196, 2399928; 2) Опубликованные заявки на изобретения №№ 2008113784, 2009112116, 2009118698, 2009115134; 3) Заявки на изобретения №№ 2010104061, 2011232101.

Блок 3. «Конструкции». Включает сведения о детекторных устройствах различного типа: объемные (цилиндрические, шаровые, конические, клинообразные, дековые структуры), волоконные, планарные гетероструктуры, наноразмерные структуры, покрытия: 1) Патенты РФ на изобретения №№ 2088952, 2107279, 2142147, 2143711, 2148837, 2154290, 2158011, 2189057, 2190240, 2231809, 2242025, 2244320, 2248011, 2248588, 2251124, 2259573, 2261459, 2262722, 2270462, 2270463, 2272301, 2276387, 2297015, 2297015, 2323453, 2347241, 2400774; 2) Патенты на полезные модели №№ 1756, 98826, 100294; 3) Опубликованные заявки на изобретения №№ 96107590, 2009112115; 4) Заявки на изобретения №№ 2009139563, 2010107507, 2010117133, 2010123257, 2010123259, 2010123261, 2010123270, 2010123272, 2010133473; 5) Заявки на полезные модели №№ 2010131144, 2010151439.

Блок 4. «Устройства». Содержит сведения об устройствах электроники и оптоэлектроники и о комплексах и системах радиационного контроля различного базирования: 1) Патенты РФ на изобретения №№ 2061275, 2085967, 2092872, 2098842, 2129318, 2277234, 2309457, 2310889, 2348976, 2357385, 2372641, 2378666, 2386112, 2392642; 2) Патенты на полезные модели №№ 98823, 100271, 100296, 101772, 102143; 3) Опубликованные заявки на изобретения №№ 2009115049, 2009139581.

На следующих страницах приведены полные описания перечисленных выше патентных документов (патентов и заявок) РФ на изобретения и полезные модели в области новых оптических материалов и устройств, а также описания сопутствующих этой тематике технических решений, разработанных с участием сотрудников УрФУ. Патентообладателем подавляющего большинства изобретений является УрФУ.

ОПИСАНИЯ ПАТЕНТНЫХ ДОКУМЕНТОВ РФ

Патент № 2061275 РФ. Устройство для легирования поверхности детали ионным пучком / Г. Д. Ведьманов, Е. А. Ковальский, К. О. Хохлов. Заявл. 25.02.1992; опубл. 27.05.1996.

Реферат

Сущность изобретения: устройство содержит два комплекта взаимно перпендикулярных пластин, с помощью которых происходит отклонение пучка ионов. На каждый комплект подается изменяющаяся разность потенциалов с двух идентичных блоков управления (БУ). Каждый БУ содержит реверсивный счетчик импульсов, постоянную память (ПП), два цифроаналоговых преобразователя (ЦАП) и выходной усилитель с парафазными выходами, к которым подключены отклоняющие пластины. ПП и первый ЦАП подключены к счетчику, второй ЦАП - к выходам кода ПП, а усилитель - к первому ЦАП. На счетчик первого БУ подаются импульсы от генератора, на счетчик второго БУ импульс переноса, вырабатываемый в момент изменения направления счета счетчика первого БУ. Сигналы со вторых ЦАП обоих БУ через сумматор аналоговых сигналов управляют периодом следования импульсов генератора. 2 ил.

Описание изобретения

Изобретение относится к легированию поверхностей твердотельных образцов путем облучения их пучком ионов. Возможно использование в области научных исследований по изучению процессов взаимодействия ионов с мишенью.

Известны устройства электростатического сканирования пучка заряженных частиц (ЗЧ) по поверхности мишени, использующие пару (несколько пар) отклоняющих пластин, на которые подается изменяющаяся разность потенциалов, благодаря чему достигается отклонение пучка ЗЧ от первоначальной траектории (Пат. 2137409 Великобритании, H01J 37/317, H01J 21/425, опубл. 1983; Пат. 4593200 США, H01J 37/256, опубл. 1984). Известно устройство для внедрения ионов в мишень, отклоняющее пучок ЗЧ по двум взаимно перпендикулярным плоскостям (Патент 4260897 США, H01J 37/00, опубл. 1981). Данное устройство (фиг.1) содержит два комплекта взаимно перпендикулярных пластин, на которых можно изменять разность потенциалов с помощью управляющих устройств (УУ) 1 и 2. УУ каждого комплекта содержит реверсивный счетчик импульсов 4, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) 5, фазорасщепитель 6 и два выходных усилителя 7 и 8. На счетчик 4 УУ 1 подаются сигналы от генератора 3. Фазорасщепители преобразуют сигналы с ЦАП в два сигнала, симметричных относительно общей точки, которые после усиления в выходных усилителях поступают на отклоняющие пластины. Таким образом, на первый комплект пластин подается изменяющееся напряжение, на второй постоянное. По завершении прохода пучка ЗЧ по мишени УУ 1 выдает сигнал, вызывающий изменение напряжения на втором комплекте отклоняющих пластин на фиксированную величину. Одновременно переключается на обратное изменение напряжения на первом комплекте пластин. Пучок ЗЧ сканирует по мишени по двум координатам, равномерно легируя поверхность мишени. Устройство выбрано в качестве прототипа.

В прототипе использовано линейное сканирование пучка ЗЧ по мишени, что приводит к равномерному легированию поверхности мишени. В случае, когда требуется какая-либо зависимость степени легирования от координаты по поверхности мишени прототип использовать затруднительно, так как приходится использовать маски и процесс легирования растягивается по времени и требует увеличения производственных затрат.

В случае сложных функций степени легирования по координатам применение прототипа просто невозможно.

Целью изобретения является получение неравномерности степени легирования детали (получение произвольной степени легирования в пределах строки при повторении полученной зависимости в других строках с точностью до постоянной). Дополнительной целью является формирование профиля пучка заряженных частиц (для научных исследований).

Поставленная цель достигается введением в схему прототипа дополнительных блоков, связанных определенным образом, что позволило управлять функцией сканирования по детали (мишени). В предлагаемое устройство, содержащее два блока управления (БУ), каждый из которых включает реверсивный счетчик, выход которого соединен с входом цифроаналогового преобразователя (ЦАП) и высоковольтный усилитель с парафазными выходами, образующими выходы БУ и подключенными к соответствующим комплектам взаимно перпендикулярных отклоняющих пластин, а также генератор импульсов, выход которого подключен к входу реверсивного счетчика второго блока управления, введен аналоговый сумматор, а блоки управления снабжены постоянной памятью (ПП) и вторым ЦАП, подключенным к выходу кода ПП. Адресный вход ПП соединен с выходом реверсивного счетчика, а выходы вторых ЦАП подключены к входам аналогового сумматора, выход которого соединен с входом генератора импульсов. Генератор в этом случае должен быть выполнен в виде преобразователя напряжение-период. Введение указанных блоков позволило осуществить обратную связь: выходной код счетчиков период генератора, следовательно, имеем возможность задавать интервал времени, в течение которого счетчики каждого БУ находятся в фиксированном состоянии, что соответствует определенному углу отклонения пучка ЗЧ от первоначального направления. Так как между углом отклонения и координатой попадания ЗЧ в образец существует жесткая связь, то имеем возможность задавать требуемую степень легирования каждого конкретного участка поверхности детали кодовой комбинацией, вырабатываемой ПП для данного выходного кода счетчиков. В ПП можно заложить практически любую функциональную зависимость для строки (т.е. для одной координаты), в соответствии с которой будем иметь необходимую степень легирования. ПП легко перепрограммировать или заменить, что позволяет простым образом изменять функцию. Сумматор складывает сигналы обратной связи с обоих БУ, что позволяет повторять полученную зависимость в других строках с точностью до постоянной.

Вариант предлагаемого устройства представлен на фиг. 2.

Устройство содержит два блока управления 1 и 2, сумматор аналоговых сигналов 3 и генератор 4, представляющий собой преобразователь напряжение-период. Каждый БУ состоит из двоичного реверсивного счетчика импульсов 5, ЦАП 6 и ПП 7, подключенных к счетчику 5, ЦАП 8, подключенного к ПП 7 и высоковольтного усилителя 9, на который подается сигнал с ЦАП 6. Усилитель имеет два парафазных выхода, которые образуют выходы БУ и подключены к соответствующим комплектам взаимно перпендикулярных отклоняющих пластин. Выходы ЦАП 8 и обоих БУ поданы на сумматор 3, к которому подключен генератор 4. Выход генератора 4 подан на счетчик 5 БУ 1, к выходу переноса которого подключен счетчик 5 БУ 2.

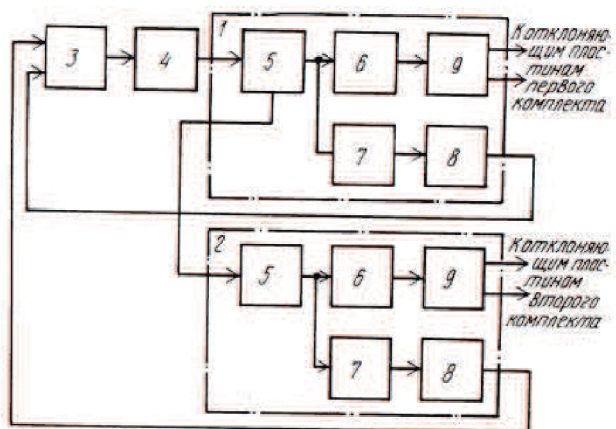
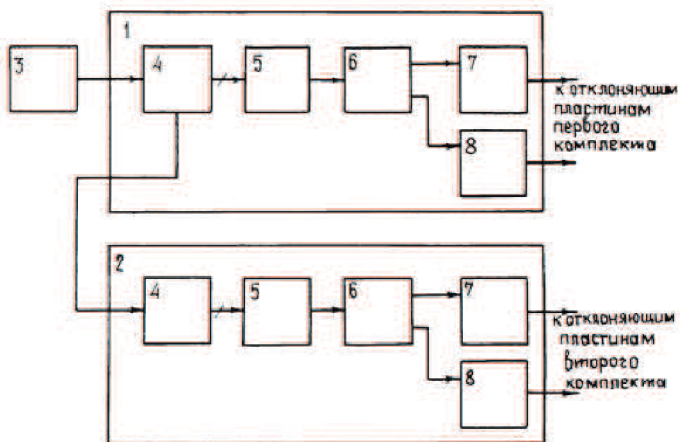
Устройство работает следующим образом. Позиционный двоичный код (ПДК) со счетчиков 5 преобразуется ЦАП 6 в аналоговый сигнал, который посредством усилителей 9 формирует на отклоняющих пластинах соответствующую разность потенциалов. Пучок ЗЧ отклоняется от первоначального направления на угол, определенный разностью потенциалов на каждом комплекте отклоняющих пластин, и попадает в конкретный участок поверхности детали. Одновременно ПП 7 вырабатывает ПДК, соответствующий интервалу времени, в течение которого оба БУ должны находиться в данном фиксированном состоянии. ПДК с выходов кода ПП 7 преобразуется в аналоговый сигнал

ЦАП 8. Аналоговые сигналы с обоих БУ посредством сумматора 3 управляют периодом генератора 4, который вырабатывает тактовые импульсы с периодом, пропорциональным сумме ПДК обоих ПП 7. По завершении прохода пучка 3Ч по одной координате счетчик 5 БУ 1 изменяет направление счета и вырабатывает сигнал переноса, изменяющий состояние счетчика 5 БУ 2.

Процесс сканирования пучка 3Ч по детали циклический и непрерывный и может продолжаться бесконечно долго. ПП 7 легко заменить на другое или перепрограммировать, благодаря чему обеспечивается простота изменения функции легирования. Предлагаемое устройство обеспечивает неравномерность степени легирования поверхности от координат, сокращение временных и производственных затрат на процесс неравномерного легирования за счет исключения применения масок, сложные функционально-координатные зависимости степени легирования. Дополнительными преимуществами устройства являются простота процесса переключения с одной функции легирования на другую за счет простой замены или перепрограммирования ПП и возможность использования устройства в научных исследованиях как устройства формирования необходимого профиля пучка 3Ч.

Формула изобретения

Устройство для легирования поверхности детали ионным пучком, содержащее два блока управления, каждый из которых включает реверсивный счетчик, выход которого соединен с входом цифроаналогового преобразователя, и высоковольтный усилитель с парафазными выходами, образующими выходы блока управления и подключенными к соответствующим комплектам взаимно перпендикулярных отклоняющих пластин, а также генератор импульсов, выход которого подключен к входу реверсивного счетчика первого блока управления, выход переноса которого соединен с входом реверсивного счетчика второго блока управления, отличающееся тем, что оно снабжено аналоговым сумматором, а блоки управления выполнены с вторым цифроаналоговым преобразователем, вход которого соединен с выходом дополнительно введенного блока постоянной памяти, адресный вход которого подключен к выходу реверсивного счетчика, при этом выходы вторых цифроаналоговых преобразователей блоков управления соединены с входами аналогового сумматора, выход которого подключен к входу генератора импульсов, выполненного в виде преобразователя напряжения в период.



Патент № 2065614 РФ. Кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-1 / Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Б. В. Шульгин, Г. А. Китаев, Л. Ф. Гаврилов, С. И. Бузмакова. Заявл. 31.05.1994; опубл. 20.08.1996. Бюл. № 23.

Реферат

Использование: для регистрации частиц от ускорителей и радиоактивных источников. Сущность: сцинтиллятор состоит из галогенидов серебра в отношении, мас. %: хлорид серебра 22 – 27, бромид серебра 77,99 – 72,50, йодид серебра 0,01 – 0,50. Технический результат: негигроскопичный кристаллический неорганический сцинтиллятор, обладающий временем разрешения не хуже 20 нс со световыходом 40 – 50 % от световыхода стиблена.

Описание изобретения

Изобретение относится к сцинтилляционным материалам, в частности к неорганическим кристаллическим сцинтилляторам, в которых под действием ионизирующих излучений возникают световые вспышки сцинтилляции. Основными характеристиками кристаллических сцинтилляторов являются плотность, эффективный атомный номер ($Z_{эф}$), показатель преломления (n), световыход сцинтилляций, спектр люминесценции, время высвечивания (τ), рабочая температура. Области применения предъявляют к сцинтилляторам ряд жестких требований, а именно материалы должны быть негигроскопичны и прозрачны для собственного свечения.

Известны кристаллические органические сцинтилляторы (КОС) антрацен, транс-стильбен, толан и другие (Физический энциклопедический словарь. Т. 5. М.: Советская энциклопедия, 1966. С. 109). КОС имеют невысокую плотность от 1,16 до 1,25 и малую величину $Z_{эф}$, а чем больше величина этих характеристик, тем выше вероятность взаимодействия ионизирующих частиц с веществом сцинтиллятора. КОС характеризует низкая температура плавления, поэтому интервал рабочей температуры у них ограничен. Но КОС обладают преимуществами перед неорганическими кристаллическими сцинтилляторами по времени высвечивания (τ), которое, например, у трансстильбена 4–8 нс, в то время как у лучшего неорганического сцинтиллятора – NaI:Te – 210 нс. Малая величина τ дает преимущества в измерительных устройствах, например, по временному разрешению.

Наиболее близким техническим решением являются кристаллические неорганические сцинтилляторы (КНС) типа NaI:Te, CsI:Te (UAR SHAW Scintillation Detectors Saint Gobain проспект, 1990. С. 5), которые обладают высокой плотностью 3,67 и 4,51 г/см³, большой величиной $Z_{эф} = 50$ и 54, а также широким рабочим температурным диапазоном ввиду высокой температуры плавления этих материалов. КНС обладают также высоким световым выходом. Недостатками КНС являются большое время высвечивания 210 и 700 нс соответственно, а также высокая гигроскопичность. Применение их в атмосферных условиях без специальной защиты невозможно.

Задачей изобретения является получение негигроскопичных кристаллических неорганических сцинтилляторов, обладающих малым временем высвечивания, более высокой плотностью и эффективным атомным зарядом, а также повышенной прозрачностью в видимом и ИК-диапазоне. Поставленная задача решается за счет того, что сцинтиллятор содержит галогениды серебра при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: хлорид серебра 22 – 27, бромид серебра 77,99 – 72,50, йодид серебра 0,01 – 0,50. Эти кристаллы обладают следующими свойствами: негигроскопичны и нетоксичны, растворимость в воде при 25°C 0,178·10⁻³ – 3 г/дм³, т. е. практически не растворимы; небольшое время высвечивания не менее 20 нс, сравнимо со временем кристаллических органических сцинтилляторов; высокая плотность кристаллов 6,4 г/см³; показатель преломления 2,2; эффективный атомный номер $Z_{эф} = 42,6 – 42,7$; световыход альфа-

сцинтилляций (плутоний-229) составляет 40 – 50 % относительно световыхода стильбена; максимум спектра свечения 400 нм.

Таким образом, сущность изобретения состоит в том, что известные кристаллы на основе хлорид-бромид серебра, применяемые в волоконной оптике и инфракрасной технике, содержат дополнительно йодид серебра в количестве 0,01 – 0,50 мас. % наличие которого превращает кристаллы в сцинтилляторы (примеры 1 – 3). Увеличение содержания йодида серебра в кристаллах более 0,5 мас. % приводит к ухудшению их оптических свойств. Они вырастают блочными, неоднородными по составу, а после воздействия ионизирующего излучения кристаллы разлагаются с выделением серебра и его окисных соединений (пример 4). При уменьшении в кристаллах йодида серебра менее 0,01 мас. % сцинтилляционные свойства отсутствуют (пример 5).

Пример 1. По методу Стокбаргера вырастили кристалл, содержащий 22 мас. % хлорида серебра, 77,99 мас. % бромид серебра и 0,01 мас. % йодида серебра. С целью получения гомогенного однородного сырья для выращивания кристаллов в него при синтезе вводили йодид-ионы. После вырезания цилиндрической заготовки $10 \times 10 \text{ мм}^2$ и оптической обработки поверхности кристалла определяли световыход сцинтилляций при альфа-возбуждении (плутоний-239) на аттестованной установке согласно ГОСТам. Световыход сцинтилляций составлял 40 % от стильбена. Спектр рентгенолюминесценции определяли на установке АСНИ (возбуждение от аппарата УРС-1, медный катод, напряжение 40 кВ, ток 10 мА). Получена длина волны ($\lambda_{\text{макс}}$), соответствующая максимуму спектра люминесценции, 400 нм, полуширина 90 нм (фиг. 1).

Осциллографическим методом при возбуждении электронным пучком (150 кЭВ, 10 нс) измерено время затухания сцинтилляций, т. е. время высвечивания. Длительность импульса составляла менее 20 нс. Полученные сцинтилляторы имеют однородную структуру, негигроскопичны и нетоксичны. Растворимость в воде при 25°C составляет $1,178 \cdot 10^{-3} \text{ г/дм}^3$. Плотность $6,4 \text{ г/см}^3$, $Z_{\text{эф}} = 42,7$, показатель преломления 2,2. Однородность сцинтиллятора по составу определяли следующими методами: лазерной калориметрией, анализировали коэффициент объемного поглощения на длинах волн СО- и СО₂-лазеров, он составляет $(3 - 5) \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о высокой чистоте и однородности кристаллического неорганического сцинтиллятора; рентгеноспектральными и титриметрическими методами анализировали химсостав по высоте и ширине КНС; химико-спектральным методом анализировали примеси: железо, медь, никель, марганец, титан, олово, свинец, магний, алюминий и др. Содержание их в образцах менее $10^{-5} - 10^{-6}$ мас. % (чувствительность метода). Этот показатель также свидетельствует о высокой однородности и чистоте сцинтилляторов.

Пример 2. Из кристалла, содержащего 25 мас. % хлорида серебра, 74,8 мас. % бромид серебра и 0,2 мас. % йодида серебра, вырезали цилиндрическую заготовку размером $10 \times 10 \text{ мм}^2$, обрабатывали торцы и проводили измерения как в примере 1. Получили нетоксичный однородный по составу сцинтиллятор со следующими свойствами: растворимость в воде при 25°C $1,178 \cdot 10^{-3} \text{ г/дм}^3$ (практически нерастворимый); длина волны $\lambda_{\text{макс}}$, соответствующая максимуму спектра люминесценции, – 400 нм, полуширина 90 нм (фиг. 1), время высвечивания – менее 20 нс. Световыход сцинтилляций составил 40 % от световыхода стильбена. Плотность сцинтиллятора $6,4 \text{ г/см}^3$; показатель преломления 2,2; $Z_{\text{эф}} 42,7$. Однородность сцинтилляторов по составу определяли методами лазерной калориметрии, рентгеноспектральными, титриметрическим и химико-спектральными методами. Сцинтилляторы однородные.

Пример 3. Методом Стокбаргера выращивали кристалл, содержащий в мас. % хлорид серебра 27, бромид серебра 72,5 и йодид серебра 0,5. Измерения проводили как в примере 1. Получили нетоксичный, негигроскопичный, однородный сцинтилляционный

кристалл, обладающий свойствами: время высвечивания менее 20 нс, максимум спектра люминесценции 400 нм, полуширина 90 нм (фиг. 1), световыход сцинтилляции составляет 50 % от стильбена, плотность 6,4 г/см³, показатель преломления 2,2, $Z_{эф}$ 42,7.

Пример 4. По методу Стокбаргера вырастили кристалл, содержащий 22 мас. % хлорида серебра, 77 мас. %, бромида серебра и 1 мас. % йодида серебра. Из кристалла вырезали цилиндрическую заготовку 10×10 мм², торцы отполировали. На аттестованной установке согласно ГОСТу определяли световыход сцинтилляций при альфа-возбуждении плутонием—239. Световыход составил менее 1 % от стильбена. Кристалл с добавлением такого количества йода вырастает блочным, что наглядно видно при прохождении лазерного луча через него. Коэффициент объемного поглощения на длинах волн СО- и СО₂-лазеров составляет $n = (10^{-4} - 10^{-3}) \text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о неоднородности кристалла. Последнее подтверждается анализами на химсостав по длине и ширине образца. В блочных кристаллах под действием ионизирующих излучений по границам блоков восстанавливается серебро, т. е. кристалл разлагается, загрязняется собственными продуктами разложения, значительно ухудшаются оптические характеристики.

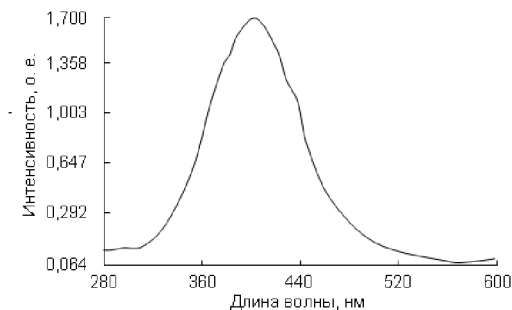
Пример 5. Вырастили кристалл, содержащий 24,995 мас. % хлорида серебра, 75 мас. % бромида серебра и 0,005 мас. % йодида серебра. После оптической обработки кристалла измерили коэффициент объемного поглощения на длинах волн СО- и СО₂-лазеров. Он составлял $5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$. Химико-спектральным методом определили примесный состав менее $10^{-4} - 10^{-6}$ мас. % (как в примере 1) и рентгеноспектральным методом — химсостав. Кристалл однороден по высоте и ширине, имеет плотность 6,4 г/см³, $n = 2,2$, $Z_{эф} = 42,7$. Световыход сцинтилляции составил менее 10 % от световыхода стильбена (неудовлетворительные свойства).

Из литературы широко известно использование галогенидов серебра в качестве светочувствительных материалов, однако наличие у их кристаллических модификаций сцинтилляционных свойств не обнаружено.

Заявляемому веществу присвоено авторское наименование ЛИЯ-1.

Формула изобретения

Кристаллический сцинтиллятор, включающий галогениды металлов, отличающийся тем, что в качестве галогенидов металлов он содержит галогениды серебра при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: хлорид серебра 22,00 – 27,00; бромид серебра 77,99 – 72,50; йодид серебра 0,01 – 0,50.



Фиг. 1

Патент № 2066464 РФ. Кристаллический сцинтилятор ЛИЯ-2 / Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Б. В. Шульгин, Г. А. Китаев, Л. Ф. Гаврилов, Л. В. Викторov. Заявл. 31.05.1994; опубл. 10.09.1996. Бюл. № 25.

Реферат

Использование: для регистрации частиц от ускорителей и радиоактивных источников.

Сущность изобретения: сцинтилятор состоит из галогенидов серебра и таллия в соотношении (мас. %): хлорид серебра 22,00 – 27,00, бромид серебра 77,98 – 72,499, йодид серебра 0,010 – 0,500, ион таллия 0,010 – 0,001.

Технический результат: негигроскопичный кристаллический неорганический сцинтилятор, обладающий временем разрешения не хуже 20 нс и световыходом 50 – 60 % от световыхода стильбена.

Описание изобретения

Изобретение относится к сцинтилляционным материалам, а конкретно к неорганическим кристаллическим сцинтилляторам, в которых под действием ионизирующих излучений возникают световые вспышки сцинтилляции. Кристаллические сцинтилляторы характеризуют следующие свойства: длина волны ($\lambda_{\text{макс}}$), которая соответствует максимуму спектра люминесценции; широкий диапазон прозрачности сцинтиллятора; время высвечивания (τ); плотность; эффективный атомный номер ($Z_{\text{эф}}$); рабочая температура; показатель преломления. Основными свойствами сцинтилляторов являются также негигроскопичность, нетоксичность, пластичность и прозрачность для собственного свечения.

Известны кристаллические органические сцинтилляторы (КОС) антрацен, транс-стильбен, толан и другие (Физический энциклопедический словарь. Т. 5. М.: Советская энциклопедия, 1966. С. 109). КОС имеют невысокую плотность от 1,16 до 1,25 и малую величину $Z_{\text{эф}}$, а чем больше величина этих характеристик, тем выше вероятность взаимодействия ионизирующих частиц с веществом сцинтиллятора. КОС характеризует низкая температура плавления, поэтому интервал рабочей температуры у них ограничен.

Но КОС обладают преимуществами перед неорганическими кристаллическими сцинтилляторами по времени высвечивания, которое, например, у транс-стильбена 4–8 нс, в то время как у лучшего неорганического сцинтиллятора йодистого натрия (NaI:Tl) 210 нс. Малая величина τ дает преимущества в измерительных устройствах, например, по временному разрешению.

Наиболее близким техническим решением являются кристаллические неорганические сцинтилляторы (КНС) типа NaI:Tl, CsI:Tl (UAR SHAW Scintillation Detectors Saint Gobain проспект, 1990. С. 5), которые обладают высокой плотностью 3,67 г/см³ и 4,51 г/см³, большой величиной $Z_{\text{эф}}$ 50 и 54, а также широким рабочим температурным диапазоном ввиду высокой температуры плавления у этих материалов. КНС обладают также высоким световым выходом.

Недостатками КНС является большое время высвечивания 210 и 700 нс соответственно, а также высокая гигроскопичность, кроме того, некоторые из них высокотоксичны. Применение их в атмосферных условиях без специальной защиты невозможно.

Задачей изобретения является получение негигроскопичных, нетоксичных, пластичных кристаллических неорганических сцинтилляторов, характеризующихся малым временем высвечивания, высокой прозрачностью в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, более высокой плотностью и эффективным атомным зарядом. КНС должны быть пластины с целью изготовления из них волоконно-оптических сцинтилляционных устройств, например трековых детекторов.

Поставленная задача решается за счет того, что неорганический сцинтиллятор содержит галогенид серебра и таллия при следующем соотношении ингредиентов (мас. %): хлорид серебра 22,000 – 27,000; бромид серебра 77,980 – 72,499; йодид серебра 0,010 – 0,500; галогенид таллия 0,010 – 0,001. Новые кристаллы обладают следующими свойствами:

- негигроскопичны, растворимость в воде $0,178 \cdot 10^{-3}$ г/см³ при 25°C, т. е. практически не растворимы;
- нетоксичны и имеют высокую пластичность. Методом экструзии получают из них гибкие и прочные на разрыв световоды;
- небольшое время высвечивания менее 20 нс сравнимо со временем кристаллических органических сцинтилляторов;
- высокая плотность кристаллов 6,4 г/см³;
- эффективный атомный номер $Z_{эф}$ 42,6 – 42,7;
- широкий диапазон пропускания от 0,4 до 40 мкм;
- максимум спектра свечения 400 нм;
- световыход альфа-сцинтилляций от плутония-239 составляет 50 – 60 % от носительно световыхода стильбена;
- показатель преломления 2,2.

Сущность изобретения состоит в том, что известные кристаллы на основе AgCl–AgBr, применяемые в волоконной оптике и ИК-технике, содержат дополнительно йодид серебра в количестве 0,010 – 0,500 мас. % и ионы таллия в количестве 0,010 – 0,001 мас. %. Наличие в указанных кристаллах йодида серебра и ионов таллия на уровне примеси придают кристаллам сцинтилляционные свойства (примеры 1 – 3). При увеличении содержания йодида серебра в кристаллах более 0,5 мас. % (пример 4) ухудшаются оптические свойства кристаллов. Такое же явление наблюдается при увеличении ионов таллия выше 0,01 мас. % (пример 5). Кристаллы вырастают неоднородными по составу, блочными, резко понижается прозрачность, особенно в видимой области спектра. Под действием ионизирующих излучений кристаллы разлагаются. При уменьшении в кристаллах йодида серебра менее 0,01 мас. % (пример 6) и ионов таллия менее 0,001 мас. % (пример 7) сцинтилляционные свойства неудовлетворительны. Следует отметить, что таллий определяется в кристаллах химикоспектральным методом как примесь, а в кристаллах может находиться в виде любого галогенида. Поэтому в составе указывается ион таллия.

Пример 1. Методом Стокбаргера вырастили кристалл, содержащий, мас. %: хлорид серебра 22,00; бромид серебра 77,98; йодид серебра 0,01; ион таллия 0,01. После оптической обработки кристалла определили световыход сцинтилляций при альфа-возбуждении (плутоний-239) на аттестованной установке согласно ГОСТам. Световыход сцинтилляций составлял 60 % от стильбена. Спектр рентгенолюминесценции определяли на установке АСНИ. Возбуждение от аппарата УРС-1, катод медный, напряжение 40 кВ, ток 10 мА. Максимум спектра люминесценции составил 400 нм, полуширина 90 нм (фиг. 1). Для выявления узких полос поглощения проведены измерения среднего участка спектра (аппаратное разрешение 2 нм). Таковых не обнаружено. Время высвечивания определили осциллографическим методом при возбуждении электронным пучком (150 кэВ, 10 нс). При этом длительность импульса составляла менее 20 нс – это предельное временное разрешение метода. Полученные сцинтилляторы имеют однородную структуру, широкий диапазон прозрачности от 0,4 до 40 мкм. Они негигроскопичны (растворимость в воде при 25°C $1,178 \cdot 10^{-3}$ г/дм³), нетоксичны и пластичны. Плотность сцинтилляторов 6,4 г/см³, $Z_{эф} = 42,6$; показатель преломления 2,2. Однородность сцинтиллятора по составу определяли следующими методами: лазерная калориметрия, анализировали коэффициент объемного поглощения на длинах волн СО и СО₂-лазеров. Он

составляет $(3 - 5) \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о высокой чистоте и однородности кристаллического неорганического сцинтиллятора; рентгеноспектральным и титриметрическим методами анализировали химсостав по высоте и ширине; химико-спектральным методом анализировали примеси: железо, медь, никель, марганец, титан, олово, свинец, магний, алюминий и др. Содержание их в образцах менее $10^{-5} - 10^{-6}$ мас. %. Этот показатель также свидетельствует о высокой однородности и чистоте сцинтилляторов.

Пример 2. Вырастили кристалл состава, мас. %: хлорид серебра 25,00; бромид серебра 74,69; йодид серебра 0,305; ион таллия 0,005. Кристалл обработали и провели измерения как в примере 1. Световыход сцинтилляций составил 50 % от стильбена, длительность импульса менее 20 нс. Максимум спектра люминесценции 400 нм, полуширина 90 нм (фиг. 1), $Z_{\text{эф}} = 42,6$. Кристаллы нетоксичны, негигроскопичны и высокопластичны. Спектр пропускания, растворимость, плотность, показатель преломления как в примере 1.

Пример 3. Вырастили кристалл состава, мас. %: хлорид серебра 27,00; бромид серебра 72,499; йодид серебра 0,500; ион таллия 0,001. Все измерения провели как в примере 1. Световыход сцинтилляций 55 % от световыхода стильбена, длительность импульса менее 20 нс, максимум спектра люминесценции 400 нм (фиг. 1) при широком диапазоне прозрачности сцинтиллятора от 0,4 до 40 мкм, $Z_{\text{эф}} = 42,7$. Все остальные характеристики как в примере 1.

Пример 4. Вырастили кристалл состава, мас. %: хлорид серебра 25,00; бромид серебра 74,20; йодид серебра 0,79; ион таллия 0,01. Кристалл вырос блочным и неоднородным по составу. Обработку его и измерения провели как в примере 1. Световыход сцинтилляций составил менее 10 % от световыхода стильбена, т. е. кристалл обладает неудовлетворительными сцинтилляционными свойствами и под действием ионизирующего излучения «темнеет» и разлагается с выделением серебра, окисных соединений серебра. Резко понижается его прозрачность.

Пример 5. Вырастили кристалл состава, мас. %: хлорид серебра 25,00; бромид серебра 74,57; йодид серебра 0,40; ион таллия 0,03. Кристалл вырос блочным, неоднородным по составу, под действием излучений разлагается, теряя оптические свойства. Световыход сцинтилляций менее 5 % от световыхода стильбена.

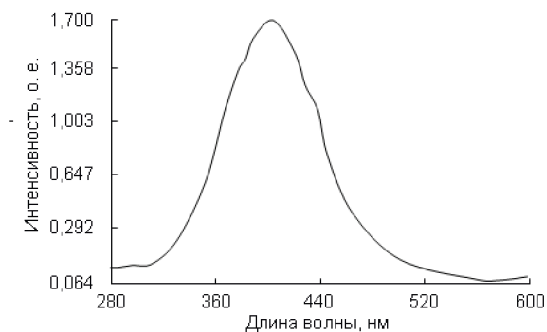
Пример 6. Вырастили кристалл состава, мас. %: хлорид серебра 25,00; бромид серебра 74,990; йодид серебра 0,005; ион таллия 0,005. После оптической обработки кристалла определили коэффициент объемного поглощения на длинах волн СО и СО₂-лазеров, который равен $5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о высокой чистоте и однородности кристалла. Химико-спектральным методом определили примесный состав менее $10^{-5} - 10^{-6}$ мас. %. Рентгеноспектральным методом проанализировали кристалл на химсостав по высоте и ширине кристалла. Кристалл однороден. Плотность его $6,4 \text{ г/см}^3$, $n = 2,2$, $Z_{\text{эф}} = 42,6$. Световыход сцинтилляций составил менее 10 % от световыхода стильбена, т. е. кристалл обладает неудовлетворительными сцинтилляционными свойствами.

Пример 7. По методу Стокбаргера вырастили кристалл состава в весовых хлорид серебра 25,0000; бромид серебра 74,9945; йодид серебра 0,005; ион таллия 0,0005; Кристалл вырос чистым, однородным по высоте и ширине, имеет характеристики как в примере 6. Световыход сцинтилляций менее 5 % от световыхода стильбена.

Заявленному веществу присвоено авторское наименование ЛИЯ-2.

Формула изобретения

Кристаллический сцинтиллятор, включающий галогениды таллия, отличающийся тем, что он дополнительно содержит галогениды серебра при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: хлорид серебра 22 – 27; бромид серебра 77,980 – 72,499; йодид серебра 0,01 – 0,50; галогенид таллия 0,010 – 0,001.



Фиг. 1

Патент № 2081950 РФ. Способ окрашивания кристаллов природного берилла и изделий из них / А. В. Кружалов, Т. И. Полупанова, Б. В. Шульгин, А. Ф. Ласковенков. Заявл. 17.03.1995; опубл. 20.06.1997. Бюл. № 17.

Реферат

Предложен способ окрашивания кристаллов природного берилла и изделий из них (ювелирных вставок) для улучшения качества их окраски: окрашивания под изумруд. Способ включает облучение кристаллов природного берилла ионизирующим излучением и их термообработку и отличается тем, что термообработанные кристаллы подвергают вторичному облучению, причем первичное и вторичное облучение проводят электронным пучком с энергией 6 – 8 МэВ и флюенсом $10^{15-2}, 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ при каждом облучении, а термообработку ведут медленным нагревом и охлаждением 2 – 2,5 град/час с выдержкой при 160 – 170°C в течение 1–2 часов.

Описание изобретения

Изобретение относится к ювелирной промышленности, в частности к облагораживанию камней, и может быть использовано для улучшения качества окраски кристаллов природного берилла и изделий из них ювелирных вставок.

Известны способы радиационного окрашивания кристаллов, например окрашивания кристаллов силиката иттрия Y_2SiO_5 реакторными нейтронами дозой (флюенсом) $10^{16}-10^{18}$ нейтрон/см² (Икрамов Г. И. Радиационно-оптические эффекты в кислородсодержащих кристаллах и стеклах / Г. И. Икрамов, Г. Т. Петровский. Ташкент: ФАН, 1985. 77 с). Плотность окраски возрастает с увеличением дозы облучения нейтронами, однако окраска получается коричневой, что не представляет особого интереса для ювелирной промышленности.

Известен способ радиационного окрашивания быстрыми реакторными нейтронами кристаллов иттрий-алюминиевого граната $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ активированного марганцем для придания им зеленого цвета (Оптические спектры марганца в облученных быстрыми нейтронами иттрий-алюминиевых гранатах / Н. А. Миронова [и др.]. Тезисы докладов IX Всесоюзного симпозиума по спектроскопии кристаллов, активированных ионами редкоземельных и переходных металлов. Л.: ГОИ, 1990. С. 70). Появление зеленого цвета обусловлено изменением валентности ионов марганца. Однако, этот известный способ не пригоден для окрашивания кристаллов берилла, поскольку они не содержат марганца. Кроме того, обработанные в реакторе кристаллы имеют повышенную наведенную радиоактивность, что требует значительного времени на их выдержку с целью снижения их наведенной радиоактивности.

Из всех известных способов наиболее близким к заявляемому является способ (Über die Mineralant Beryll, Ihre farben und absorptiones spekten / K. Schmetzer [et al.] // Z. D. Gemmol. Ges. 1974. Bg. 23, № 1. P. 5 – 39). Согласно этому способу облучение кристаллов берилла, содержащих примесь железа, рентгеновским излучением приводит к изменению окраски от голубой через зеленую до желтой (что связано с изменением валентного состояния примесных ионов железа). Однако такой способ не обеспечивает получения стабильной окраски кристаллов берилла. Известный способ (Über die Mineralant Beryll, Ihre farben und absorptiones spekten / K. Schmetzer [et al.] // Z. D. Gemmol. Ges. 1974. Bg. 23, № 1. P. 5 – 39) нагревания Fe-содержащих кристаллов берилла в восстановительной (водород) или окислительной (кислород) атмосфере, хотя и обеспечивает изменение цвета: желтый-зеленый-голубой, однако он не обеспечивает устойчивости окраски, т. е. качество ювелирного сырья не улучшается. Известный способ использующий нагрев в водороде или кислороде и радиационное воздействие гамма-излучением, позволяет изменять окраску кристаллов хромсодержащих изумрудов. Однако, изменение

окраски очень слабое: кристаллы становятся чуть светлее, либо чуть темнее, качество изумрудов не улучшается.

Целью изобретения является окрашивание кристаллов природного берилла в зеленый цвет получение стабильной зеленой окраски (под изумруд). Поставленная цель достигается за счет того, что в способе, включающем облучение кристаллов берилла ионизирующим излучением и термообработку, обработанные кристаллы подвергают вторичному облучению, причем первичное и вторичное облучение проводят с использованием сильнооточного пучка электронов с энергией 6–8 МэВ и флюенсом 10^{15} – $5 \cdot 10^{16}$ см⁻², а термообработку медленным нагреванием со скоростью 2–2,5 град/мин до температуры 160–170°C, выдержке при этой температуре 1–2 часа с последующим охлаждением со скоростью 2–2,5 град/мин до комнатной температуры. Первичная радиационная обработка обеспечивает окрашивание кристаллов берилла с определенным примесным составом в зеленый цвет. Термообработка и повторная радиационная обработка приводит к закреплению и стабилизации зеленой окраски кристаллов берилла. Дополнительным преимуществом предлагаемого способа является снижение сколообразования образцов берилла-изумруда вследствие отжига.

Пример 1. Кристаллы берилла (с определенным природным содержанием примесей) в виде пластинок размерами $10 \times 10 \times 2$ мм³ облучали пучком электронов (с энергией 8 МэВ), создаваемым ускорителем Микротрон. Ток пучка составлял 2 мкА ($1,2 \cdot 10^{13}$ с⁻¹). Площадь облучаемого пятна составляла 6 см². Плотность потока частиц составляла $2 \cdot 10^{12}$ с⁻¹ см⁻². Время облучения составляло 2 мин, что обеспечивало флюенс 10^{15} см⁻². Облученные образцы подвергали термообработке: нагревали со скоростью 2 град/мин до 160°C, выдерживали при этой температуре 2 часа, а затем охлаждали со скоростью 2 град/мин. Отожженные образцы пластинок берилла подвергали вторичному дополнительному облучению электронным пучком в течение 2 мин. Общий флюенс (доза) составлял $2 \cdot 10^{15}$ см⁻². Кристаллы берилла окрашивались в зеленый цвет при определенном содержании природных примесей. Данные о режиме облучения и отжига сведены в табл. 2.

Пример 2. Режим облучения низкотемпературного отжига кристаллов берилла или изделий из них в виде пластинок указан в табл. 2. Общий флюенс облучения составил $5 \cdot 10^{15}$ см⁻². Результатом облучения явилось окрашивание кристаллов берилла в зеленый цвет при определенном содержании природных примесей в кристалле. Результативность окрашивания кристаллов и пластинок природного берилла (имеющих определенный природный примесный состав) путем облучения их электронным пучком на микротроне и термообработки

Пример 3. Режимы облучения и низкотемпературной обработки кристаллов природного берилла или изделий из них (пластинок) указаны в табл. 2. Общий флюенс облучения составил 10^{16} см⁻². В результате первичного облучения, последующего отжига и дополнительного облучения кристаллы берилла окрашивались в зеленый цвет (при определенном составе природных примесей).

Пример 4. Режимы облучения и низкотемпературного отжига приведены в табл. 2. Общий флюенс облучения, включая вторичное дополнительное облучение, составил $5 \cdot 10^{16}$ см⁻². Результатом облучения и термообработки кристаллов природного берилла и изделий из них (пластинок, кобашонов, ограненных ювелирных вставок) явилось их окрашивание при определенном составе и содержании природных примесей.

Пример 5. Режимы облучения и отжига кристаллов берилла приведены в табл. 2. Флюенс невелик, он составил $5 \cdot 10^{14}$ см⁻². Кристаллы не окрашиваются из-за малого флюенса.

Пример 6. Режимы облучения и отжига заданы в табл. 2. Общий флюенс электронов составил 10^{17} см^{-2} . Кристаллы окрашиваются в зеленый цвет, однако время облучения велико 13 часов. С учетом времени подготовки ускорителя время облучения составило 60 часов (около 2 недель), поэтому режимы флюенсов, превышающих $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, оказываются очень дорогими, и они выведены из формулы изобретения.

Требуемая энергия электронов, используемых для обработки, окрашивания кристаллов природного берилла в зеленый цвет составляет 6–8 МэВ. Если энергия электронного пучка 6 МэВ, то эффекты окрашивания ослабевают: в примере 5 облучение кристаллов берилла или изделий из них пластинок электронами с энергией 4 МэВ, флюенсом $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ не приводит к окрашиванию образцов. Более высокая энергия облучения, нежели 8 МэВ допустима, но режим облучения становится неэкономичным особенно для тонких образцов кристаллов природного берилла или изделий из них (пластинок, кобашонов, ограненных камней).

Формула изобретения

Способ окрашивания кристаллов природного берилла и изделий из них, включающий их облучение ионизирующим излучением и термообработку, отличающийся тем, что термообработанные кристаллы подвергают вторичному облучению, причем первичное и вторичное (дополнительное после термообработки) облучение проводят с использованием сильноточного пучка электронов с энергией 6–8 МэВ и флюенсом $10^{15-2}, 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, так что общий флюенс облучения составляет $2 \cdot 10^{15-5}, 10^{16} \text{ см}^{-2}$, а термообработку проводят медленным нагревом со скоростью 2–2,5 град/мин с выдержкой при 160–170°C в течение 1–2 ч и последующим охлаждением со скоростью 2–2,5 град/ч до комнатной температуры.

Номер примера	Флюенс пучка электронов, см^{-2}	Время первичного и вторичного облучений	Энергия облучения, МэВ	Условия отжига			Результат обработки
				Температура отжига, °C	Время отжига, ч	Скорость нагрева и охлаждения, °C/мин	
1	$10^{15} \times 2$	2 мин \times 2	6	170	1	2,0	Кристаллы окрашиваются в зеленый цвет
2	$2,5 \cdot 10^{15} \times 2$	0,37 ч \times 2	8	160	2	2,2	— // —
3	$5 \cdot 10^{15} \times 2$	0,75 ч \times 2	8	160	2	2,0	— // —
4	$2,5 \cdot 10^{16} \times 2$	3,25 ч \times 2	6	170	1	2,5	— // —
5	$2,5 \cdot 10^{14} \times 2$	1 мин \times 2	4	170	2	2,5	Кристаллы не окрашиваются
6	$5 \cdot 10^{16} \times 2$	6,5 ч \times 2	10	160	1	2,0	Кристаллы окрашиваются в зеленый цвет

Патент № 2085967 РФ. Стабилизатор базовой линии спектрометра / О. В. Игнатьев, С. В. Дудин, А. Д. Пулин. Заявл. 31.03.1995; опубл. 27.07.1997. Бюл. № 21.

Реферат

Использование: в области ядерной электроники. Сущность изобретения: устройство содержит усилительную секцию, охваченную импульсной отрицательной обратной связью через нуль-компаратор со стробируемыми парафазными выходами и через дифференциальный «идеальный» интегратор, причем между информационным входом и входом стробирования нуль-компаратора последовательно включены сдвоенный компаратор с симметрично относительно нуля установленными порогами и разделительная CR-цепь с укороченным временем восстановления после прохождения импульса стробирования. Устройство эффективно работает в диапазоне амплитуд 200:1 при факторе занятости $d = \pi i_n T_w \geq 200\%$, где πi_n – интенсивность спектрометрических импульсов; T_w – их длительность по основанию.

Описание изобретения

Изобретение относится к области ядерной электроники. Преимущественное применение прецизионные спектрометры рентгеновского и гамма-излучений и заряженных частиц с применением полупроводниковых детекторов. Настоящее устройство является представителем новой разновидности стабилизаторов исходного уровня, которые обычно входят в состав спектрометрических усилителей.

Детальный анализ основных структур и наиболее качественных схемных реализаций стабилизаторов исходного уровня содержится в монографии (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 262 – 292). В этой работе показано, что принцип действия всех известных к тому времени стабилизаторов при всем их многообразии сводится к увеличению постоянной времени разделительной CR-цепи с приходом спектрометрического импульса с последующим возвращением ее к исходному значению $T_b = C_b R_b$. Этим достигается уменьшение степени заряда емкости C_b током сигнала во время его прохождения и соответственно ускоряется восстановление исходного потенциала по сравнению со случаем неизменной величины C_b . Меньшими динамическими погрешностями, т. е. динамическим смещением и флуктуациями базовой линии, при повышенных статистических нагрузках характеризуются стабилизаторы, относящиеся к классу линейных время-вариантных устройств, поскольку в них теоретически возможно добиться полного отсутствия заряда разделительного конденсатора током сигналов. Однако из-за необходимости установки порога срабатывания схемы временной привязки над уровнем шума, а также слабой коррелированности электронного шума на входе стабилизатора при повышенных статистических нагрузках происходит деградация разрешающей (по амплитуде) способности спектрометра из-за возникновения так называемого нестационарного шума (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 269–275). Нелинейные стабилизаторы базовой линии, известные как «восстановители постоянной составляющей», обладают существенно худшими динамическими показателями при повышенных статистических нагрузках, но одновременно и более слабой зависимостью уровня шума от интервалов времени между началом данного спектрометрического импульса и окончанием предыдущего (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 274).

Известен время-вариантный стабилизатор «охватывающего» типа (Fairstein E. // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1975. Vol. NS-22, № 1. P. 453–466) широко применяемый с небольшими изменениями в спектрометрических усилителях многих фирм, включая EG G

ORTEC, CANBERRA et al. Стабилизатор (Fairstein E. // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1975. Vol. NS-22, № 1. P. 453–466) является прототипом и содержит (фиг. 1) усилитель 1, усилитель-ограничитель с парафазными выходами 2, двоянный компаратор 3, стробируемые генераторы тока с аналоговым управлением их величиной 4, РС-интегратор и буферный каскад 5. Симметричные пороги ограничения усилителя-ограничителя 2, как правило, ниже максимального уровня шума, а положительный порог V_p двоянного компаратора 3 над максимальным уровнем шума, отрицательный порог V_n того же компаратора несколько превышает порог V_p и служит целям защиты стабилизатора от воздействия длинных импульсов обратной полярности (в данном случае отрицательной по выходу усилителя 1).

Стабилизатор-прототип работает следующим образом. В исходном состоянии, т. е. при наличии шума, но в отсутствии спектрометрических импульсов электронные ключи G_1 и G_2 замкнуты и усилитель охвачен отрицательной обратной связью по постоянному току. Выход его «привязывается» к нулю независимо от того как сильно шумовые импульсы превышают пороги усилителя-ограничителя, так как интенсивности шумовых импульсов обеих полярностей в среднем равны, а пороги симметричны.

С приходом спектрометрического импульса (фиг. 2) усилитель-ограничитель «отслеживает» на своем выходе его начальную часть, т. е. уменьшает ток I_n и увеличивает I_p . Это происходит до достижения сигналом порога V_p , после чего изменение I_p прекращается. По достижению сигналом порога V_p срабатывает двоянный компаратор 3 и оба тока отключаются. Дальнейший заряд C_b происходит в течение всего времени превышения сигналом порога V_p «защитным» током малой величины I_{pr} через резистор R_b . Назначение «защитного» тока I_{pr} – снятие возможного «паралича» стабилизатора (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. 334 с). После снижения спектрометрического импульса до величины V_p компаратор 3 «отпускает» и процесс развивается в обратном направлении. Под действием накопленного на C_b заряда у импульса образуется незначительный выброс противоположной полярности (эпюра U_b на фиг. 2). В силу малой его величины благодаря току I_n длительность выброса оказывается также незначительной. Процесс восстановления становится локализованным во времени. Отношение длительности спектрометрического импульса T_w к времени восстановления (при прямоугольной форме) определяется отношением токов I_n/I_{pr} . В данном случае оно составляет $120 \text{ мА}/0,5 \text{ мА} = 240$, т. е. время восстановления $T_{res} = 0,4 \% \cdot T_w$.

Прототипу свойственен ряд недостатков. При пологих фронтах и малых амплитудах компаратор 3 срабатывает слишком поздно, а «отпускает» задолго до окончания сигнала на его входах. В предельном случае, когда амплитуда равна порогу V_p , заряд C_b продолжается значительным током в течение T_w , тогда T_{res} составит уже не 0,4 % а все 100 % от T_w .

Даже в «идеальных» условиях, когда регистрируются монолинии излучения, а форма импульсов близка к прямоугольной, сохраняются две причины возникновения динамических погрешностей. Первая из них связана с появлением, так называемых «групповых» импульсов при высоких статистических нагрузках, когда цикл «занятости» $d \cdot n_n \cdot T_w > 1$, где n_n – интенсивность входных сигналов спектрометра, а T_w длительность по основанию спектрометрических импульсов. Средняя длительность «группового» импульса равна

$$\Gamma (e^d - 1) / n_n, \quad (1)$$

а среднеквадратичная флюктуация «группового» импульса

$$\sigma_r = \{(e^{2d} - 2d - 1) / n_n\}^{1/2}. \quad (2)$$

Обычно полагают, что максимальная длительность «группового» импульса равна

$$T = \Gamma + (3-4) \cdot \sigma_{\Gamma}. \quad (3)$$

Если взять достаточно типичный случай, когда в спектрометре действуют квазигауссовы импульсы с временем достижения максимума (с пиковым временем) $T_{\text{ре-ак}} = 5$ мкс и с длительностью по основанию $T_w = 15$ мкс, то при статистической загрузке $\pi_{\text{д}} \sim 10^6 \text{ с}^{-1}$ согласно (1)–(3) имеем: $d = 1,5$; $\Gamma = 34,8$ мкс; $S = 12,7$ мкс; $T = 44,4$ мкс. Отсюда следует, что при отмеченных выше соотношениях токов в устройстве прототипе время восстановления после группового импульса составит $T_{\text{тел}} = 180$ мкс. Это приблизительно соответствует длительности 12 нормальных импульсов. Ясно, что часть сигналов после группового импульса будут иметь искаженные амплитуды.

Другая причина динамических погрешностей в «идеальных» условиях связана с ограниченным быстродействием таких аналоговых элементов структуры стабилизатора-прототипа как усилитель-ограничитель и стробируемые генераторы токов с аналоговым управлением их величиной. Ограниченность их быстродействия, в частности задержка в отключении генераторов тока по отношению к моменту появления спектрометрического импульса, ведет к паразитному заряду емкости C_b током сигнала и соответственно к возникновению динамического смещения и флуктуаций базовой линии.

Практически схемотехника указанных устройств основана на применении интегральных операционных усилителей, где из-за требований частотной устойчивости скорость отклика всегда будет ниже, чем у схем без обратных связей и, соответственно, без цепей частотной коррекции, например у компараторов. Самая же тяжелая ситуация возникает при измерении ионизирующих излучений высокой интенсивности с широким спектром амплитуд, например из-за комптоновского рассеяния. В этом случае действуют все отмеченные факторы совместно.

Среди факторов деградации энергетического разрешения спектрометра при высоких статистических нагрузках, обусловленных влиянием стабилизатора базовой линии, помимо его динамических погрешностей сказывается им же рожденный эффект нестационарного шума (Fairstein E. // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1975. Vol. NS-22, № 1. P. 453–466). Здесь следует заметить, что стабилизатор, содержащий стробируемые генераторы тока вместе с RC-интегратором и буферным усилителем может быть заменен эквивалентной схемой, содержащей вместо отмеченных элементов «идеальный» интегратор с нормально замкнутым электронным ключом на входе. В свою очередь, эта конфигурация согласно (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 264–265) эквивалентна CR-дифференциатору с коммутируемой постоянной времени T в пределах от $T R_b C_b T_b$ до бесконечности (фиг. 3). Положению t , равной бесконечности, на фиг. 1 соответствует разомкнутое состояние электронных ключей. Как показано в работе (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 269–275) все без исключения CR-дифференциаторы с коммутируемой постоянной времени являются источниками нестационарного шума из-за продолжительной «памяти» на предысторию данного, регистрируемого события. Предыдущие срабатывания стабилизатора увеличивают дисперсию высокочастотной составляющей шума. Согласно (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 269–275) возникающий нестационарный шум может на 70 % увеличивать общий уровень шума. Этот фактор деградации разрешающей способности спектрометра особенно существен при использовании полупроводниковых детекторов рентгеновского и «мягкого» гамма-излучения.

Задача изобретения увеличение быстродействия стабилизатора базовой линии за счет снижения паразитного заряда емкости C_b сигналами низкого уровня и устранения эффекта нестационарного шума. Эта задача решается снижением порогов «привязки» к

спектрометрическим импульсам, повышением быстродействия элементов структурной схемы и исключением аналоговой цепи обратной связи за счет замены усилителя ограничителя на нуль-компаратор со стробированием парафазных выходов, применения дифференциального «идеального» интегратора вместо RC-интегратора на выходе стробируемых и управляемых генераторов токов, использования разделительной CR-цепи с ускоренным восстановлением для стробирования нуль-компаратора.

Структурная схема предлагаемого стабилизатора базовой линии приведена на фиг. 4 (где 1 – линейный усилитель; 2 – нуль-компаратор со стробируемыми парафазными выходами; 3 дифференциальный «идеальный» интегратор; 4 – двоянный компаратор; 5 разделительная CR-цепь с укороченным временем восстановления). На фиг. 5 показаны эпюры напряжений в выделенных точках схемы.

Предлагаемое устройство содержит усилительную секцию (в данном случае в инвертирующем включении), охваченную импульсной отрицательной обратной связью через нуль-компаратор со стробируемыми парафазными выходами и через дифференциальный «идеальный» интегратор, причем между информационным входом и выходом стробирования нуль-компаратора последовательно включены двоянный компаратор с симметрично относительно нуля установленными порогами и разделительная CR-цепь с укороченным временем восстановления после прохождения импульса стробирования.

Предлагаемый стабилизатор работает следующим образом. В отсутствии спектрометрических импульсов компаратор 2 срабатывает практически на каждый из шумовых импульсов обеих полярностей. Поскольку вероятности пересечения шумовым процессом нулевой линии в обоих направлениях равны, то при нулевом среднем значении процесса и достаточно большой постоянной времени реакция дифференциального интегратора равна нулю. Если по каким-то причинам возникло смещение выходного уровня, то сигналы от нуль-компаратора будут воздействовать преимущественно на один из входов дифференциального интегратора и за счет реакции последнего выходной уровень будет приведен к нулю. Следует отметить, что независимо от величины возникшего смещения и амплитуды шумовых импульсов на входах дифференциального интегратора действуют логические импульсы, а не аналоговые, т. е. стабилизирующая обратная связь в предлагаемом устройстве по своему характеру цифрового типа.

Пороги двоянного компаратора 4 равны по модулю и независимо от уровня действующего в спектрометре шума устанавливаются ниже минимальной регистрируемой амплитуды, т. е. около 0,25–0,5 % шкалы амплитуд. Часть шумовых импульсов всегда превышает пороги компаратора 4, однако частота его срабатываний из-за ненулевых порогов обязательно ниже, чем у нуль-компаратора, поэтому он заблокирует лишь часть срабатываний последнего, т. е. не влияет на стабилизацию базовой линии спектрометра при отсутствии спектрометрических импульсов. В стабилизаторе-прототипе превышение шумов порогов приводит к эффекту «выпрямления» шума, поэтому этот стабилизатор неэффективен при малых амплитудах.

Появление спектрометрического импульса 1 (фиг. 4, эпюры U_a и U_b) вызывает срабатывание компаратора 4 после достижения порогового напряжения V_p . Через разделительную цепь с укороченным временем восстановления 5 слегка продифференцированным импульсом (фиг. 5, эпюра U_c) блокируется компаратор 2 на все время превышения импульсом блокировки логического уровня его входа стробирования. На обоих логических выходах компаратора 2 устанавливаются равные потенциалы. Дифференциальный интегратор 3 не реагирует на синфазные сигналы и в течение надпороговой длительности спектрометрического импульса сохраняет на своем выходе прежний потенциал. По окончании надпороговой длительности спектрометрического импульса компаратор 4 «отпускает», напряжение на выходе цепи 5 быстро восстанавливается до первоначального значения и компаратор 2 с дифференциальным интегратором 3 продолжают «отслеживать» медленные флуктуации базовой линии на выходе усилителя 1. На эпю-

рах U_c , U_a , U_e и U_f штриховкой показаны интервалы времени, когда осуществляется блокировка выходов компаратора 2.

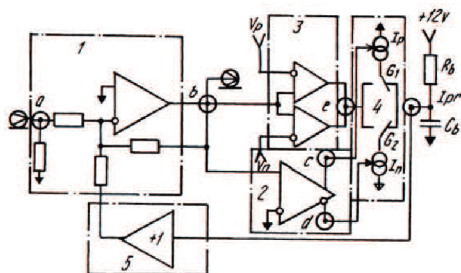
Назначение разделительной цепи 5 состоит в том, чтобы подавлять возможный «паралич» (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 269–275) стабилизатора. Если вместо цепи 5 применить гальваническую связь, то при наличии на входе усилителя 1 смещения, большего, чем пороги компаратора 4, после включения питания этот компаратор срабатывает, за блокирует компаратор 2, отключится цепь обратной связи и устройство сможет пребывать в этом состоянии бесконечно долго. Другая причина паралича «групповые» импульсы при цикле занятости $d > 100\%$ Постоянная времени цепи 5 выбирается так, чтобы по прошествии установленного времени, большего d_{\max} , сигнал стробирования спал до логического уровня входа управления компаратора 2. После этого выход усилителя через время, определяемое «петлевым» усилением и величиной смещения к моменту обнаружения паралича, приводится к нулю. В стабилизаторе-прототипе этим целям служит «защитный» ток, пропускаемый через резистор R_{pt} , действующий постоянно и вызывающий динамическое смещение.

Из приведенного ясно, что из-за нулевого порога срабатывания компаратора 2 и расположенных в шумах симметричных низких порогов сдвоенного компаратора 4 реакция интегратора 3 на спектрометрические импульсы при прочих равных условиях существенно слабее, чем в устройстве-прототипе, особенно благодаря полному блокированию выходов компаратора 2. В силу этого динамические погрешности предлагаемого стабилизатора базовой линии при высоких статистических нагрузках принципиально ниже, чем для прототипа. Кроме того, отсутствие в цепи «цифровой» обратной связи стабилизируемого усилителя аналоговых элементов таких, как усилитель-ограничитель и стробируемые генераторы управляемого тока, обеспечивает минимальные схемные погрешности.

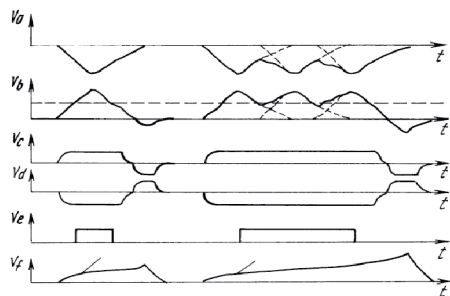
Что касается эффектов возникновения нестационарного шума, то, как отмечено, в предлагаемом стабилизаторе отсутствует аналоговая связь между выходом усилителя 1 входами интегратора 3. Любое превышение в ту либо иную сторону нулевого порога компаратора 2 вызывает появление на его выходах стандартных, т. е. цифровых изменений напряжения. Таким образом, шумовые импульсы на вход интегратора 3 не поступают и соответственно не могут там запоминаться при появлении спектрометрического сигнала, а затем складываться или вычитаться из суперпозиции сигнала и шума на выходе усилителя 1, вызывая увеличение шумовой дисперсии в момент максимума.

Формула изобретения

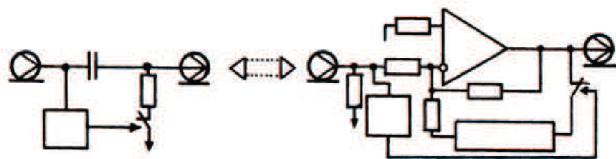
Стабилизатор базовой линии спектрометра ионизирующих излучений, содержащий линейный усилитель, усилитель-ограничитель с парафазными выходами, интегратор и сдвоенный компаратор, отличающийся тем, что усилитель-ограничитель выполнен в виде нуль-компаратора со стробируемыми парафазными выходами, интегратор выполнен в виде дифференциального «идеального» интегратора, в устройство введена разделительная CR-цепь с укороченным временем восстановления, при этом выход линейного усилителя, являющийся выходом стабилизатора, соединен с информационными входами нуль-компаратора и сдвоенного компаратора, а его вход обратной связи с выходом дифференциального «идеального» интегратора, два входа которого подключены к соответствующим парафазным выходам нуль-компаратора, выход сдвоенного компаратора соединен с входом разделительной CR-цепи, а ее выход подключен к входу стробирования нуль-компаратора.



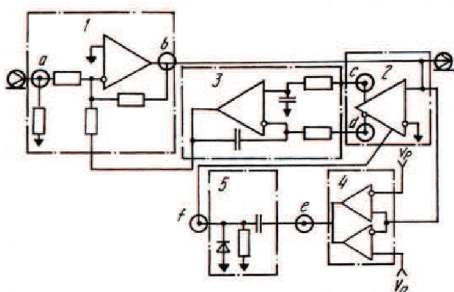
Фиг. 1. Время-вариантный стабилизатор «охватывающего» типа (Fairstein E. // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1975. Vol. NS-22, № 1. P. 453–466)



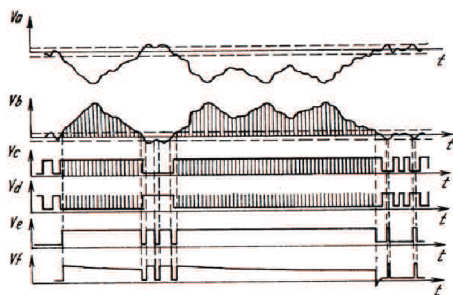
Фиг. 2. Эпюры напряжений время-вариантного стабилизатора «охватывающего» типа (Fairstein E. // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1975. Vol. NS-22, № 1. P. 453–466)



Фиг. 3. Эквивалентные схемы (пояснения в тексте)



Фиг. 4. Структурная схема предлагаемого стабилизатора базовой линии



Фиг. 5. Эпюры напряжений предлагаемого стабилизатора базовой линии

Патент № 2088952 РФ. Детектор для регистрации ионизирующего излучения / Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, С. И. Горкунова, В. Л. Петров, И. А. Садовенко. Заявл. 23.02.1995; опубл. 27.08.1997. Бюл. № 24.

Реферат

Использование: для обнаружения и идентификации альфа-, бета-, гамма-, протонного или рентгеновского излучения на фоне сопутствующего и требующего учета нейтронного излучения. Сущность изобретения: детектор содержит датчик и блок электронной обработки сигнала. Датчик выполнен в виде последовательно соединенных сцинтиллятора (чувствительного к альфа-, бета-, гамма-, протонному и рентгеновскому излучению и имеющего толщину, полностью поглощающую это излучение), световода и фотоэлектронного умножителя, причем световод выполнен из водородсодержащего сцинтиллирующего вещества, чувствительного к нейтронам. Блок электронной обработки сигналов содержит схему временной селекции, которая подсчитывает число импульсов от ионизирующего излучения и нейтронов, обеспечивая их отдельный и общий учет.

Описание изобретения

Устройство относится к детекторам ядерных (альфа-, бета-, гамма-излучений), протонного или рентгеновского излучений, регистрируемых на фоне сопутствующего и требующего учета нейтронного излучения, и может быть использовано для обнаружения и идентификации различных ионизирующих излучений при наличии нейтронного излучения, особо для обнаружения и идентификации гамма-источников на фоне сопутствующего и требующего учета космического и земного нейтронного излучения в системах контроля, в частности в системах таможенного контроля.

Известные детекторы ядерных излучений содержат, обычно, датчик и блок электронной обработки сигналов (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Пат. 3688118 США; Заявка 0311503 ЕВП (ЕР); Пат. 4482808 США). Например, селективный детектор нейтронов по Пат. 3688118 США содержит два датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, в то время как другой чувствителен только к заряженным частицам; число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом с этих датчиков, выделяемым с помощью электронного блока. Однако возможность применимости такого детектора для регистрации незаряженных частиц, в частности гамма-излучения, в Пат. 3688118 США не оговорена. Известный детектор (Заявка 0311503 ЕВП (ЕР)) нескольких излучений включает два сцинтилляционных датчика с зеленым и красным свечением, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой к низкоэнергетическому, и электронно-оптический блок регистрации, выделяющий сигналы от разных датчиков с помощью световодов и регистрирующий их с помощью фотодиодов. Такой детектор имеет ограниченные области применения, по данным заявки он пригоден для регистрации рентгеновского излучения с двумя различными энергиями.

Наиболее близким к заявленному является устройство, описанное в Пат. 4482808 США, которое представляет собой прибор для измерения нейтронов и гамма-лучей. Это устройство содержит датчик – сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и электронную схему разделения сигналов, генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако такое устройство имеет весьма ограниченные области применения: любой однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации нейтронов и гамма-лучей в диапазоне энергий до 10 МэВ и выше. Если датчик выполнен из водородсодержащего, чувствительного к быстрым нейтронам материала, то он практически не чувствителен к гамма-

излучению с энергией 1–10 МэВ и выше (из-за низкого эффективного атомного номера). Если датчик выполнен из материала с высоким эффективным атомным номером, то, будучи чувствительным к гамма-излучению, он не будет регистрировать быстрые нейтроны. Таким образом, известное устройство (Пат. 4482808 США) непригодно для одно-временной регистрации высокоэнергетического (1–10 МэВ и выше) гамма-излучения и быстрых нейтронов.

Заявленное устройство содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. Датчик выполнен в виде последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла на основе ортогерманата висмута $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO), чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также альфа-, бета-, гамма-излучениям, и световода, выполненного из органического водородосодержащего вещества на основе стилибена или пластмассы (СН)_л, чувствительного к быстрым нейтронам, и фотоэлектронного умножителя, а блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от сцинтиллятора и световода. Сущность изобретения заключается в том, что световод датчика выполнен из сцинтиллирующего вещества, избирательно чувствительного к быстрым нейтронам. Сцинтилляционный кристалл BGO, чувствительный к протонному, рентгеновскому, альфа-, бета-, гамма-излучению (с энергией 1–10 МэВ и выше), имеет толщину, достаточную для того, чтобы регистрируемое излучение поглощалось в нем полностью и не доходило бы до сцинтиллирующего световода, и находится в оптическом контакте со световодом-сцинтиллятором, выполненным из стилибена или из пластмассы (СН)_л, последний находится в оптическом контакте с окном фотоэлектронного умножителя, сигнал с которого поступает на блок электронной обработки сигналов.

Устройство работает в полях альфа-, бета-, гамма-, протонного или рентгеновского излучений на фоне сопутствующего (и требующего учета) нейтронного излучения следующим образом. Под действием альфа-, бета-, гамма-, протонного или рентгеновского излучения в сцинтилляционном кристалле BGO возникает световая вспышка с длиной волны излучения 480 – 505 нм и длительностью 300 нс, которая по световоду без особых потерь (< 3 %) поступает на фотокатод ФЭУ, создавая на выходе ФЭУ электрический импульс длительностью 300 нс. Толщина кристалла BGO выбирается такой (15 – 30 мм и более), чтобы регистрируемое им протонное, рентгеновское, альфа-, бета- или гамма-излучение (до 1–10 МэВ и выше) поглощалось в нем полностью и не доходило до световода. Сопутствующее и подлежащее учету нейтронное излучение, проходя без существенных потерь через первичный сцинтилляционный кристалл BGO (потери < 3 – 5 %), попадает в сцинтилляционный световод из органического материала и вызывает в нем световую вспышку с длиной волны излучения 400 – 420 нм с длительностью до 2 – 3 нс (в 100 – 150 раз более короткую, чем для BGO). Эта короткая световая вспышка, создаваемая нейтронами, поступает на фотокатод ФЭУ, создавая на выходе его электрический импульс длительностью 2 – 3 нс. Таким образом, когда частицы (альфа-, бета-, гамма-, протоны, или рентгеновское излучение и сопутствующее нейтронное излучение) пройдут через сцинтиллятор и сцинтиллирующий световод, выходной сигнал ФЭУ будет иметь две компоненты: быструю (2 – 3 нс), соответствующую зарегистрированным нейтронам, и медленную (300 нс), соответствующую зарегистрированному альфа-, бета-, гамма-, протонному или рентгеновскому излучению. Такой двухкомпонентный выходной сигнал поступает в электронный блок обработки (на схему временной селекции), которая подсчитывает раздельно число импульсов от ионизирующего излучения и от нейтронов, обеспечивая их раздельный и общий учет.

Формула изобретения

1. Детектор для регистрации ионизирующего излучения на фоне нейтронного излучения, содержащий датчик и блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что для регистрации протонного, рентгеновского, а также альфа-, бета-, гамма-

ионизирующих излучений на фоне одновременно регистрируемого нейтронного излучения (быстрые нейтроны) датчик выполнен в виде последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также альфа-, бета-, гамма-излучениям, и световода, выполненного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стибена или пластмассы $(CH)_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, и фотоэлектронного умножителя, а блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него от сцинтиллятора и световода.

2. Детектор по п. 1, отличающийся тем, что в качестве сцинтилляционного кристалла, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также альфа-, бета-, гамма-излучениям, используют кристалл ортогерманата висмута $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO), причем толщина кристалла BGO выбирается такой, чтобы регистрируемое им протонное, рентгеновское, а также альфа-, бета-, гамма-излучения поглощались в нем полностью и не доходили до световода.

Реферат

Сущность изобретения: предложенный процессор спектрометрических импульсов является усилителем с времявариантным формированием сигналов полупроводниковых детекторов ионизирующих излучений. В отличие от других устройств этого рода обладает следующими особенностями: время формирования автоматически устанавливается под интервал между каждым данным и последующим импульсами блока детектирования для предотвращения наложений сформированных сигналов; не вносит в спектрометр нестационарный, т. е. зависящий от скорости счета шум; сопрягается с любым стандартным блоком детектирования; подавляет баллистический дефицит; обладает повышенной температурной и долговременной стабильностью коэффициента передачи.

Описание изобретения

Изобретение относится к ядерной электронике, точнее к аналоговым устройствам спектрометров ионизирующих излучений. Преимущественное применение спектрометры рентгеновского и гамма-излучений с полупроводниковыми детекторами. Предлагаемый процессор спектрометрических импульсов является разновидностью спектрометрических усилителей, который в отличие от большинства из них содержит не времяинвариантный, а времявариантный формирователь спектрометрических импульсов для максимизации отношения сигнала к шуму (С/Ш) и сокращения времени занятости электронного канала обработкой каждого из спектрометрических импульсов.

В состав типичного спектрометра ионизирующих излучений на базе полупроводникового детектора (ППД) входят помимо собственно ППД: зарядочувствительный предусилитель с тем или иным механизмом восстановления исходного напряжения на емкости обратной связи С_г; линейный спектрометрический усилитель, содержащий собственно усилитель, формирователь спектрометрических импульсов одного из типов, стабилизатор базовой линии и инспектор наложений; аналого-цифровой преобразователь, допускающий управление собой (блокировка входа и сброс «запомненного» амплитудного значения спектрометрического импульса) со стороны инспектора наложений; интерфейс и устройство накопления и цифровой обработки спектрометрической информации (в качестве последних в настоящее время часто используются персональные компьютеры).

Роль каждого из элементов тракта ППД спектрометра подробно описана в монографии (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. 334 с). Зарядочувствительный предусилитель с полевым транзистором на входе служит для преобразования индуцированного излучением в материале ППД заряда в импульс пропорциональной амплитуды. Главное требование внесение минимума шумов со стороны предусилителя. Важнейшей функцией спектрометрического усилителя помимо усиления сигналов до уровня, обеспечивающего последующее преобразование в цифровой код, является максимизация отношения сигнала к шуму (С/Ш) с помощью спектрометрического формирователя с постоянным либо переменным во времени параметрами. Роль остальных элементов очевидна.

В диапазоне рентгеновского и «мягкого» гамма-излучений существенный, а часто и основной вклад в энергетическое разрешение вносят шумы электронного канала. Основную роль в их подавлении играет спектрометрический усилитель, он же ограничивает быстродействие всего спектрометра. Дело в том, что для максимизации С/Ш при современных полевых транзисторах, используемых в предусилителях, приходится устанавливать пиковое время $T_{\text{реак}}$ сигналов на выходе усилителя до нескольких десятков

микросекунд. Если учесть, что в коммерческих спектрометрах чаще всего применяются время инвариантные фильтры, создающие квазигауссову или треугольную импульсную характеристику спектрометра, то длительность спектрометрических импульсов по основанию составляет $T_w \approx 3T_{\text{реак}}$, что может достигать 100 мкс. Понятно, что вероятность наложений столь длинных сигналов велика уже при интенсивностях в единицы килогерц. Все остальные элементы электронного тракта спектрометра имеют гораздо меньшее мертвое время. Радиальным методом повышения быстродействия спектрометра в этих условиях является применение времявариантных спектрометрических формирователей, которые при том же пиковом времени обеспечивает меньшую длительность импульсов по основанию T_w (как правило, незначительно превышающую мертвое время). В этом случае резко снижаются погрешности, обусловленные стабилизатором базовой линии и несколько увеличивается максимально возможная интенсивность неналоженных импульсов на выходе усилителя. Еще более эффективны спектрометры, где спектрометрический формирователь имеет переменное мертвое время, т. е. если происходит наложение спектрометрических импульсов, то сразу после его обнаружения прекращается аналоговая обработка сигналов и осуществляется быстрое принудительное укорачивание возникшей суперпозиции спектрометрических импульсов. Спектрометрический усилитель с времявариантным формирователем является сложным устройством, выполняющим комплекс операций по аналоговой обработке и селекции спектрометрических импульсов, он имеет, как правило, центральное логическое устройство для управления всем комплексом. Такие блоки комплексной аналоговой обработки и селекции спектрометрических импульсов называются аналоговыми или импульсными процессорами. Среди многих аналоговых процессоров наибольшее признание в мире получила группа блоков, выполненных в рамках общей идеологии, получившая название Харуэллских импульсных процессоров (Harwell pulse processors). Главная отличительная черта этих импульсных процессоров мертвым временем. Упрощенная структурная схема последней из опубликованных разработок этой серии приведена на фиг. 1 (прототипом).

Устройство прототип (фиг. 1) содержит усилитель A_1 , формирователь импульсов обнаружения, линию задержки, буферный усилитель A_2 , управляемый RC-интегратор с электронными ключами S_1 и S_2 ; буферный усилитель A_3 ; стробируемый CR-дифференциатор с электронным ключом S_3 ; буферный усилитель A_4 и устройство таймирования и управления. В исходном состоянии электронные ключи S_1 и S_3 замкнуты, а S_2 разомкнут. Постоянная времени RC-интегратора T_i T_{sh} , где T_{sh} – время формирования спектрометрических импульсов. Постоянная времени стробируемого CR-дифференциатора $\tau_d = 0$.

Рассматриваемый процессор работает следующим образом. Появляющиеся на входе процессора спектрометрические импульсы имеют бесконечную постоянную спада, что обеспечивается импульсной оптической обратной связью в предусилителе. За счет разной напряженности электрического поля в материале ППД эти импульсы могут быть с разным временем нарастания (эпоры U_a на фиг. 2). Для исключения возможного баллистического дефицита предусмотрена возможность стандартизации фронтов всех импульсов с помощью нормально замкнутого ключа S_1 путем размыкания его на время максимально возможной длительности фронта. Для того, чтобы синхронизировать момент размыкания S_1 с началом входного импульса, сигнал поступающий на S_1 задерживается с помощью линии задержки на время, требуемое для получения точной временной привязки с спектрометрическим импульсом. Таймирование осуществляется по точке пересечения нуля «быстрыми» биполярными сигналами (эпоры U_b). В итоге на собственно RC-интегратор поступают импульсы со стандартным временем нарастания (эпоры U_c). Благодаря бесконечной постоянной спада входных импульсов, такое укорачивание сигналов не приводит к изменению их амплитуды. Одновременно с началом интервала коррекции времени нарастания T_{rc} устройство таймирования и управления вы-

рабатывает сигнал на управление стробируемым CR-дифференциатором (эпюра U_f), переводя его в состояние с $\tau_d \rightarrow \infty$. На C_d «запоминается» то напряжение, которое было в момент подачи импульса стробирования.

По окончании интервала T_{rc} (эпюра U_d) начинается интегрирование суперпозиции сигнала и шума на RC-интеграторе в течение времени формирования T_{sh} с постоянной времени $\tau_I = T_{sh}$ (эпюра U_f). На выходе стробируемого интегратора образуется разность действующей на интервале T_{sh} суперпозиции сигнала и шума и запомненного напряжения в момент стробирования. По окончании интервала времени T_{sh} на ключ S_1 выдается импульс управления с длительностью T_h (эпюра U_d) для формирования плоского участка на вершине спектрометрического импульса, необходимого для нормальной работы последующего аналого-цифрового преобразователя. После завершения времени хранения T_h устройство таймирования и управления выдает логический импульс на восстановление предусилителя (путем генерации компенсирующего тока затвора полевого транзистора под действием импульса света), замыкается ключ S_2 , уменьшая в m раз ($10 - 15$) на время восстановления интегратора T_{res} постоянную интегрирования и замыкается ключ S_3 , чем изолируется выход процессора от RC-интегратора.

Полное восстановление системы происходит за время $T_{res} + T_{pr}$, где T_{pr} – «защитное» время (эпюра U_k), требующееся для того, чтобы на конденсаторе C_I произошло усреднение высокочастотных составляющих шума после возвращения его, т. е. RC-интегратора, в режим с нормальной величиной $\tau_I = R_I C_I$. Если следующий спектрометрический импульс возникает в течение интервала T_{pr} , то его регистрация запрещается с помощью ключей S_2 и S_3 , в противном случае шумовые флуктуации амплитудных значений таких сигналов становятся недопустимо высокими. Реакция процессора на спектрометрический импульс, возникающий в течение «защитного» времени T_{pr} или более ранний период, следующая. При обнаружении такой ситуации ключ S_2 остается в прежнем, замкнутом состоянии либо замыкается, ключ S_3 замыкается. Устройство таймирования и управления выдает сигнал на укорачивание импульсов оптоэлектронной системой в предусилителе. Одновременно генерируется интервал T_{res} , а по его окончании вновь интервал защиты T_{pr} . Таким образом, при наложениях не происходит полного цикла формирования импульсов, как во время инвариантных системах. Здесь экономится часть времени T_{sh} , T_h , T_{res} и T_{pr} от первого из наложенных сигналов и полное T_{sh} от второго и последующих. Заметим, что восстановление предусилителя оптоэлектронной системой достаточно грубое. Входной сигнал процессора (эпюра U_a) «привязан» к нулю с точностью ± 90 мВ, что составляет $\pm 1,8$ % при амплитуде $+ 5$ В. Благодаря стробируемому дифференциатору с нулевой исходной постоянной времени, который «запоминает», а потом вычитает из импульса с «подложкой» (± 90 мВ) эту подложку, выходные импульсы жестко привязаны к нулевому значению.

Описанный импульсный процессор в настоящее время считается лучшим из известных в мире устройств того же назначения по совокупности таких параметров, как качество фильтрации шумов (коэффициент превышения шума КППШ 1,10 (Kandiah K. [et al.] // IEEE Tran. on Nucl. Sci. 1975. Vol. NS-22, № 5. P. 2058–2065)) и максимальная статистическая загрузка по выходу при данном времени формирования импульсов T_{sh} .

Однако прототипу свойственны серьезные недостатки. Во-первых, по своей логике восстановления, такой процессор требует использования на своем входе из всего многообразия типов зарядочувствительных предусилителей лишь специально сконструированного предусилителя с оптоэлектронным восстановлением потенциала на емкости обратной связи C_f после каждого из спектрометрических импульсов.

Другой недостаток гораздо более серьезен. Как отмечалось выше, постоянной времени RC-интегратора приводит к тому, что после возвращения электронного ключа S_2 в исходное, разомкнутое состояние, на емкости C_I может оказываться «запомненным» шумовой импульс, который был проинтегрирован с малой постоянной времени τ_I/m .

Следующий сигнал будет просуммирован с этим шумовым импульсом и окажется с искаженной амплитудой. Для снижения этого эффекта и приходится вводить «защитное» время $T_{\text{пр}}$. Если для гамма диапазона энергий, где отношение сигнала к шуму относительно велико $T_{\text{пр}} = 0,5 \cdot T_{sh}$, то в рентгеновском диапазоне, $T_{\text{пр}} = T_{sh}$. Это приводит к снижению максимально возможной статистической загрузки по выходу процессора.

Еще один недостаток процессора прототипа заключается в том, что одновременно с подавлением баллистического дефицита путем «отсекания» ключом S_1 флуктуирующей начальной части импульсов, происходит формирование плоской части весовой функции $W(T)$, т. е. потеря фильтрующей способности по отношению к «параллельным» источникам шума.

Если три выше перечисленных недостатка гинетически связаны со структурой процессора и алгоритмом его работы, то есть еще один, устранимый соответствующими схемными приемами. Дело в том, что амплитуда выходного импульса при $T = T_{sh}$ в сильной степени зависит от стабильности временного интервала T_{sh} . Для обеспечения температурной нестабильности амплитуды порядка $10^{-2} \% ^\circ\text{C}$ и ниже, соответствующий одновибратор должен быть выполнен на основе кварцевого резонатора, что весьма усложняет устройство.

Целью настоящего изобретения является устранение перечисленных недостатков. Поставленная цель достигается введением в структурную схему процессора так называемого «изодромного» активного интегратора и двух токовых компенсаторов спектрометрических импульсов последовательных приближений с одновременным исключением управления постоянной времени RC-интегратора.

На фиг. 3 представлена структурная схема предлагаемого импульсного процессора. Она содержит входной буферный усилитель 1, электрическую линию задержки 2, изодромный интегратор 3, RC-интегратор 4, стробируемый CR-дифференциатор с буферным усилителем 5, схема выборки хранения с линейным пропускателем 6, токовый компенсатор последовательных приближений импульсов «изодромного» интегратора 7, токовый компенсатор последовательных приближений импульсов RC-интегратора 8, формирователь импульсов обнаружения 9, и устройство таймирования и управления 10, при этом входной буферный усилитель, линия задержки, изодромный интегратор через свой неинвертирующий вход, пассивный RC-интегратор, стробируемый CR-дифференциатор и узел «выборки-хранения» с линейным пропускателем включены последовательно, вход инспекции наложений устройства таймирования и управления соединен со входом формирователя импульсов обнаружения и с выходом входного буферного усилителя, выход формирователя импульсов обнаружения соединен со входом таймирования устройства таймирования и управления; входы запуска «слежения» (старт) и выходы окончания «слежения» (стоп) токовых компенсаторов изодромного интегратора и RC-интегратора соединены попарно с соответствующими выходами и входами устройства таймирования и управления, чьи выходы управления стробируемым CR-дифференциатором и схемой «выборки хранения» соединены со входами управления этих узлов; выходы компенсирующих токовых импульсов компенсаторов импульсов изодромного интегратора и RC-интегратора соединены попарно с инвертирующим входом изодромного интегратора и с выходом пассивного RC-интегратора, соответственно; при это сигнальные входы токовых компенсаторов соединены попарно с выходами обоих интеграторов, соответственно, а входы опорного напряжения токового компенсатора импульсов изодромного интегратора и пассивного RC-интегратора соединены, соответственно, с общей шиной устройства и с выходом изодромного интегратора. На фиг. 4 приведены эпюры напряжений в выделенных точках устройства.

Ряд особенностей отличает предлагаемый процессор от прототипа. Во-первых, это наличие узла, называемого «изодромный» интегратор. Его назначение – формирование из экспоненциальных импульсов на входе ступеней напряжения на выходе с сохра-

нением пропорциональности амплитуд входных и выходных импульсов. Иными словами «изодромный» интегратор это преобразователь постоянной спад спектрометрических импульсов. Ряд схем могут выполнять эту функцию. Важно, чтобы их операторная передаточная функция имела вид:

$$K_{\text{int}}(p) = \frac{1 + p\tau_{\text{in}}}{p\tau_{\text{out}}}. \quad (1)$$

Лапласово изображение входного экспоненциального импульса имеет вид:

$$U_{\text{in}}(p) = \frac{U_0\tau_{\text{in}}}{1 + p\tau_{\text{in}}}. \quad (2)$$

На выходе образуется импульс с изображением:

$$U_{\text{out}}(p) = \frac{U_0\tau_{\text{in}}}{1 + p\tau_{\text{in}}} \cdot \frac{1 + p\tau_{\text{in}}}{p\tau_{\text{out}}} = \frac{U_0\tau_{\text{in}}}{p\tau_{\text{out}}}. \quad (3)$$

Выражению (3) соответствует во временной области ступень напряжения с амплитудой:

$$\frac{U_0\tau_{\text{in}}}{\tau_{\text{out}}}.$$

На фиг. 3 «изодромный» интегратор 3 показан в виде неинвертирующей секции с резистивно-емкостной отрицательной обратной связью. В предлагаемом устройстве (фиг. 3) содержатся два идентичных узла, названных «токовыми компенсаторами последовательных приближений» (поз. 7 и 8). Они отвечают ряду требований для выполнения возложенных на них функций. Во-первых, их выходные сопротивления существенно превышают сопротивления, подключенные к их выходам. Во-вторых, величины генерируемых ими компенсирующих токов обеих полярностей не являются функцией амплитуды компенсирующих импульсов, а зависят лишь от числа пересечений процессами на выходах «изодромного» и RC-интеграторов нулевой линии. Эти два условия обеспечивают отсутствие влияния токовых компенсаторов последовательных приближений на передаточную функцию по шумам обоих интеграторов. Логика работы токовых компенсаторов, содержащая алгоритм последовательных приближений необходима для достижения максимальной точности компенсации в течение заданного времени. Действительно, если бы токовый компенсатор содержал лишь два стробируемых генераторов токов I_p и I_n положительной и отрицательной полярностей; нуль компаратор, определяющий направление компенсации и обслуживающую логическую схему, то для времени компенсации T_{comp} было бы справедливо соотношение:

$$T_{\text{comp}} = \frac{U_c}{I_{\text{comp}}} C. \quad (4)$$

где U_c – напряжение, подлежащее компенсации; C емкость, напряжение на которой компенсируется; i_{comp} – компенсирующий ток $|i_{\text{comp}}| = |I_n| = |I_p|$. Согласно (4) при данных U_c и C чем больше величина i_{comp} , тем быстрее достигается компенсация накопленного на C заряда. За момент окончания компенсации принимается момент срабатывания нуль компаратора, фиксирующего момент достижения напряжения U_c нулевого значения. Однако, в силу инерционности элементов, входящих в цепь цифровой обратной связи, осуществляющей компенсацию, точное приведение к нулю напряжения U_c с помощью одного лишь значения тока i_{comp} возможно лишь в течение очень длительного времени.

Инерционность элементов проявляется в возникновении перерегулирования, т. е. после срабатывания нуля компаратора в течение времени, определяемого задержкой распространения сигнала, $i_{c\text{omp}}$ продолжает действовать в прежнем направлении, вызывая переход процесса через нуль. Величина перерегулирования U_{uc} определяется формулой:

$$U_{uc} = \frac{I_{comp} T_d}{c}, \quad (5)$$

где T_d – суммарная величина задержки. В реальной схеме величина задержки $T_d \geq 25$ нс, $C = 1$ нФ. Если положить $U_{c\text{ max}} = 5,0$ В и задаться $T_{comp\text{ max}} \approx 500$ нс, то согласно (4) $i_{c\text{omp}} = 10$ мА. В свою очередь, перерегулирование окажется равным: $U_{uc} = 0,25$ В, т. е. ошибка компенсации составит 5 % от шкалы измеряемых импульсов. Если применить ряд значений тока $i_{c\text{omp}}$, то можно за такое же время восстановления достичь требуемой точности восстановления, например 0,1 % Логика поразрядного уравнивания одна из наиболее эффективных в этом плане.

Следует отметить, что у токового компенсатора импульсов «изодромного» интегратора опорным напряжением, относительно которого происходит компенсация напряжения на информационном входе, является потенциал «земли», т. е. нулевой. Опорным напряжением для компенсатора импульсов RC-интегратора служит импульсное напряжение на входе «изодромного» интегратора.

Еще одно отличие предлагаемой структуры от устройства прототипа состоит в том, что снижения «мертвого» времени применяется отдельный узел «выборки-хранения» с линейными пропускателем, а не совмещенный с RC-интегратором. Предлагаемый импульсный процессор работает следующим образом (фиг. 4). Входной спектрметрический импульс экспоненциальной формы (эпюра U_a) разветвляется на 3 направления: на вход линии задержки 2, на вход формирователя импульсов обнаружена 9 и на входе инспекции наложенный устройству таймирования и управления 10. Электрическая длина линии задержки 2 выбрана чуть больше, чем задержка момента обнаружения спектрметрического импульса по отношению к его началу (в данном конкретном случае это момент пересечения нуля импульсом U_b на выходе формирователя 9).

На выходе «изодромного» интегратора 3 возникает ступень напряжения (эпюра U_d) с передним фронтом, повторяющим форму фронта входного импульса. Одновременно, либо с некоторой задержкой по отношению к началу импульса на входе «изодромного» интегратора, устройства управления 10 выдает импульс U_k на запуск токового компенсатора 8 импульсов RC-интегратора. По этой команде за несколько тактов регулирования, составляющих интервал компенсации T_{comp} (в данном случае за 4 такта), выходной сигнал RC-интегратора U_e становится равным по амплитуде сигналу U_d . Импульс U_m формируется после достижения заданной точности отслеживания. Заметим, что интегрирование шумов идет непрерывно с одной и той же постоянной времени $\tau_{RC} \approx T_{sh}$ как в присутствии, так и в отсутствии сигнала.

По истечении времени T_{sh} , отсчитываемого от начала спектрметрического импульса (эпюра U_d) устройство таймирования и управления 10 выдает импульс U_g на запуск токового компенсатора 7 импульсов «изодромного» интегратора. Через один или два такта восстановления «изодрома» запускается и токовый компенсатор 8, приводящий вслед за выходом «изодромного» интегратора и выход RC-интегратора к нулю. Одновременно с началом восстановления «изодромного» интегратора устройством управления 10 генерируется импульс U_p , по которому узел 6, содержащий схему «выборки хранения» и линейный пропускатель переводится в режим формирования выходного, стандартизированного по длительности импульса U_f ; схема «выборки-хранения» переходит в режим «хранение, а линейный пропускатель на ту же длительность сигнала U_p переходит в открытое состояние.

Стробируемый CR-дифференциатор 5 с нулевой постоянной времени переходит по управляющему импульсу U_p в состояние с постоянной времени $\tau_{ск} \rightarrow \infty$ на время от начала импульса U_c до начала восстановления RC-интегратора. По окончании времени восстановления RC-интегратора, процессор возвращается в исходное состояние и готов к обработке следующего события. Отметим, что с целью минимизации «мертвого» времени параметры токовых компенсаторов спектрометрических импульсов необходимо выбирать так, чтобы время восстановления $T_{сomp} \approx T_{шт}$, где $T_{шт}$ – длительность стандартизованного по форме выходного спектрометрического импульса.

Особые случаи реакция процессора на ситуацию, когда инспектор наложений устройства таймирования и управления обнаруживает появление на интервале T_{sh} второго спектрометрического импульса (импульсы 2 и 3, фиг. 4). На начальной стадии обработки импульса 3 процессы протекают точно также, как и в случае импульса 1. Поскольку, как отмечалось, электрическая длина линии задержки несколько превышает интервал обнаружения спектрометрического импульса, то факт появления импульса 3 устанавливается до того, как он успевает исказить амплитуду сигналов 2 на выходах обоих интеграторов. До его появления устройства таймирования и управления 10 генерирует сигналы, по которым узел 6 «выборки хранения» и линейного пропускателя начинают формирование выходного импульса, а токовый компенсатор 7 начинает цикла восстановления «изодромного» интегратора 3. В процессе прототипе оба сигнала 2 и 3 теряются для анализа. Алгоритм восстановления сохраняется тем же, что и для одиночного сигнала 1. Лишь в тех случаях, когда интервал времени между моментами возникновения сигналов 2 и 3 слишком мал по соображениям фильтрации шума, формирование выходного импульса U_f не происходит.

Предлагаемый процессор спектрометрических импульсов, как видно из рассмотрения его структуры и алгоритма функционирования, сохраняет лучшие качества прототипа и свободен от важнейших его недостатков:

- процессор легко сопрягается с любым из известных стандартных зарядочувствительных предусилителей;
- в предложенном варианте формирования не возникает «коммутационный», т. е. нестационарный шум, как это свойственно прототипу, поэтому нет необходимости введения «защитного» интервала времени T_{pr} вслед за каждым сигналом (для прототипа $T_{pr} = T_{sh}$). Более того, осуществляется режим адаптации времени формирования T_{sh} к интервалам времени между соседними спектрометрическими импульсами, чем достигается компромисс между быстрейшим и разрешающей способностью;
- благодаря отсутствию изменений амплитуды собственно спектрометрических импульсов и наличию компенсатора 8, осуществляющие «слежение» за выходом «изодромного» интегратора, нет необходимости в «отсекании» начальной части спектрометрических импульсов с помощью ключа в RC-интеграторе, что приводило к потере фильтрующей способности процессора по отношению к шумам «параллельных» источников;
- благодаря принципиальной неизменности амплитуды импульса на выходе RC-интегратора, снимаются жесткие требования на стабильность одновибратора, задающего интервал формирования T_{sh} .

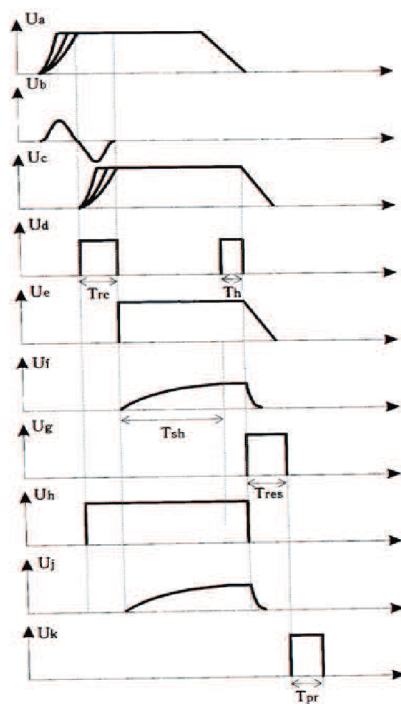
Формула изобретения

Процессор импульсных сигналов, содержащий входной буферный усилитель, электрическую линию задержки, RC-интегратор, стробируемый CR-дифференциатор, формирователь импульсов обнаружения и устройство таймирования и управления, отличающийся тем, что он дополнительно содержит изодромный интегратор, токовый компенсатор последовательных приближений импульсов изодромного интегратора, токовый

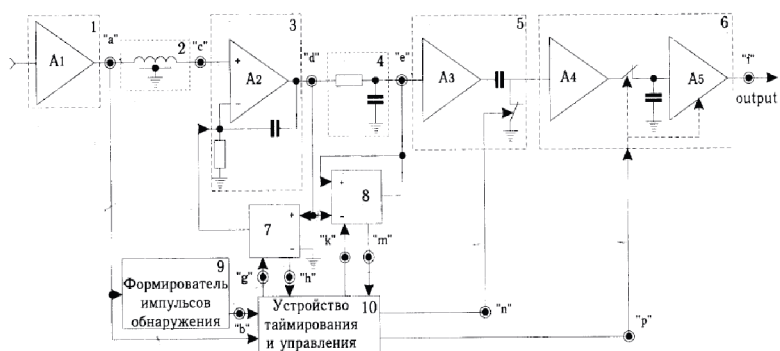
компенсатор последовательных приближений импульсов RC-интегратора и узел выборки-хранения с нормально закрытым линейным пропускателем, при этом входной буферный усилитель, линия задержки, изотропный интегратор через свой неинвертирующий вход, пассивный RS-интегратор, стробируемый CR-дифференциатор и узел выборки-хранения с линейным пропусканием включены последовательно, вход инспекции наложений устройства таймирования и управления соединен с входом формирователя импульсов обнаружения и с выходом входного буферного усилителя, выход формирователя импульсов обнаружения соединен с входом таймирования устройства таймирования управления, входы запуска «слежения» (старт) и выходы окончания «слежения» (стоп) токовых компенсаторов изотропного интегратора и RC-интегратора соединены попарно с соответствующими выходами и входами устройства таймирования и управления, чьи выходы управления стробируемым CR-дифференциатором и схемой выборки-хранения соединены с входами управления этих узлов, выходы компенсирующих токовых импульсов компенсаторов импульсов изотропного интегратора RC-интегратора соединены попарно с инвертирующим входом изотропного интегратора и с выходом пассивного RC-интегратора соответственно, при этом сигнальные входы токовых компенсаторов соединены попарно с выходами обоих интеграторов соответственно, а входы опорного напряжения токового компенсатора импульсов изотропного интегратора и пассивного RC-интегратора соединены соответственно с общей шиной устройства и с выходом изотропного интегратора.



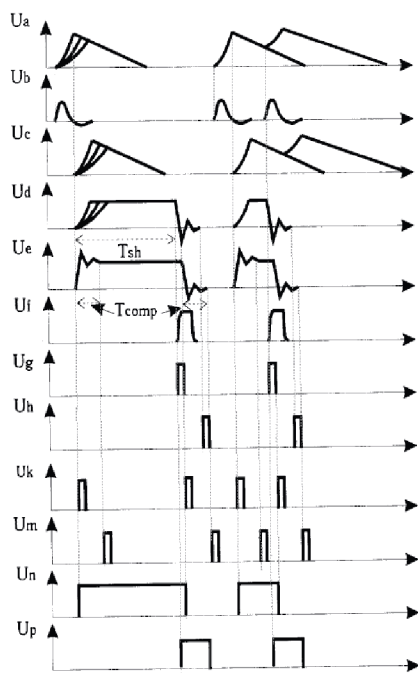
Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4

Реферат

Использование: в качестве избирательного детектора для визуализации и эффективной регистрации импульсных пучков электронов высокой плотности на фоне альфа-, бета-, гамма-ядерных излучений радионуклидов в частности, для визуализации и регистрации электронных пучков, создаваемых сильноточными ускорителями электронов нано- и пикосекундного диапазона. Сущность изобретения: применение известных полупроводниковых кристаллов йодида ртути HgI_2 (красной тетрагональной модификации) в качестве неорганического сцинтиллятора, обладающего высокой сцинтилляционной эффективностью $\sigma_{\text{отн}}$ при регистрации электронных пучков высокой плотности и практически не чувствительного как сцинтиллятор к ядерным альфа-, бета-, гамма-излучениям радионуклидов.

Описание изобретения

Изобретение относится к области сцинтилляционных детекторов ионизирующих излучений, преимущественно к области сцинтилляционных детекторов для визуализации и регистрации импульсных пучков электронов высокой плотности.

Известны неорганические сцинтилляторы для регистрации импульсных пучков электронов на основе NaI:Tl , CsI:Tl , $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и другие (Горн Л. С. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений / Л. С. Горн, Б. И. Хазанов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с.; Ортогерманат висмута / Б. В. Шульгин [и др.]. Екатеринбург: Внешторгиздат, 1992). Они обладают достаточно высокими эффективными атомными номерами соответственно $Z_{\text{эф}} = 49,8$; 54, 71,7, т. е. пригодны для регистрации высокоэнергетического излучения. Однако известные сцинтилляторы не обладают необходимой избирательностью: с их помощью на фоне ядерных альфа-, бета-, гамма-излучений не могут быть выделены подлежащие регистрации импульсные пучки электронов высокой плотности, создаваемые сильноточными ускорителями.

Известны детекторы гамма- и рентгеновского излучения на основе кристаллов йодида ртути, использующие полупроводниковые свойства этого материала (Горн Л. С. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений / Л. С. Горн, Б. И. Хазанов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с.; Авчиев И. А. Полупроводниковые детекторы в технике ядерно-физических измерений / И. А. Авчиев, А. И. Платова // Обзорная информация ВНИИГПЭ. Важнейшие изобретения года. Серия техническая физика. М., 1987. С. 22 – 26.; Van den Berg L., WitEd R. C. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1978. Vol. 25, № 1. P.395 – 397.; Залетин В. М. [и др.] // Атомная энергия. 1980. Т. 48, вып. 3. С. 169–172.; 1982. Т. 52, вып. 3. С. 193–195.; Dabrowsky A. I. [et al.] // Nucl. Instrum and Methods. 1983. Vol. 213, № 1. P. 89–94.; Дийодид ртути / В. А. Гайслер [и др.]. Новосибирск: Наука, 1984. 104 с.; Ревенко А. Г. // Заводская лаборатория. 1992. № 6. С. 12 – 19.; Пат. 4613756 США), т. е. известны полупроводниковые детекторы на основе HgI_2 красной, тетрагональной модификации. Детекторы на основе тетрагональной HgI_2 обладают параметрами: плотность 6,38 г/см³; точка плавления 250°C; температура фазового перехода в желтую модификацию 127°C; ширина запрещенной зоны при 300 К, 2,13 эВ (582 нм); диэлектрическая постоянная 9,2; среднее время жизни носителей заряда: электронов 1,0 мкс, дырок 3,5 мкс; диапазон регистрируемых энергий 1–1000 кэВ; напряжение смещения 200 – 2000 В; ток утечки 50 – 100 пА; энергетическое разрешение: неохлаждаемые детекторы 750 – 30000 эВ, охлаждаемые детекторы 200 – 653 эВ. Во всех известных публикациях кристаллы йодида ртути используют в качестве прямозонного

полупроводникового детектора излучения. Так в Пат. 4613756 США описаны комбинированный детектор, содержащий сцинтиллятор и тело из двуйодистой ртути. Ионизирующее излучение регистрируется сцинтиллятором. Световая вспышка, возникающая в сцинтилляторе, попадает затем на тело из HgI_2 . Тело из HgI_2 используется как полупроводниковый детектор, в нем, в HgI_2 возникает ток под действием световой вспышки, поступающий от сцинтиллятора.

Проводимые систематические исследования кристаллов йодида ртути HgI_2 (тетрагональной, красной модификации) позволили обнаружить возникающие в этих кристаллах при комнатной температуре 295 – 300 К световые вспышки (сцинтилляции) непосредственно при воздействии на них импульсных электронных пучков высокой плотности $300 \pm 100 \text{ А/см}^2$ при энергии 160 – 200 кэВ. Во всех известных публикациях по дийодиду ртути других авторов такого эффекта не было обнаружено. Особенностью кристаллов HgI_2 является их избирательность, а именно то, что сцинтилляции в них наблюдаются только в случае возбуждения импульсными электронными пучками высокой плотности, тогда как возбуждение их альфа-частицами (Pu-239 , 5,12 МэВ) или бета-частицами (Sr-90 , $E^{\text{max}} = 2,18 \text{ МэВ}$) или гамма-квантами (Cs-137 ; 662 кэВ) не вызывало в них сцинтилляций, превышающих фон, т. е. кристаллы HgI_2 не чувствительны как сцинтиллятор к этим видам ядерных излучений. Сцинтилляционные свойства кристаллов HgI_2 , соответствующие воздействию импульсных электронных пучков высокой плотности, приведены в табл. 3.

Спектральная область импульсного свечения йодида ртути 515 – 615 нм. Максимум спектра излучения расположен при 575 – 580 нм при крае поглощения 589–590 нм. На фиг. 1 приведен спектр сцинтилляций. Собственное свечение HgI_2 с максимумом при 575 – 580 нм носит надкрасовой характер. Оно обусловлено излучательной рекомбинацией нерелаксированных электронов и дырок вблизи дефектов решетки йодида ртути. Рекомбинация носит электронно-колебательный характер, линейность спектра свечения при однократном возбуждении говорит об участии фононов в этом процессе (фиг. 1, кривая 1). При импульсно-периодическом воздействии спектр фоновых повторений размывается (фиг. 1, кривая 2), однако характер электронно-колебательной люминесценции остается надкрасевым с максимумом при 575 – 580 нм. Под действием импульсных электронных пучков в кристаллах HgI_2 наблюдается желтовато-оранжевые вспышки. Сцинтилляционная эффективность йодида ртути составляет $C_{\text{отн}} = 10,1 \%$ относительно таковой для эталона CsI:Tl . Это неожиданный результат. Если учесть, что основная часть собственного излучения HgI_2 с длиной волны $\lambda_{\text{изл}} 575 - 580 \text{ нм}$ поглощается кристаллом (последний прозрачен лишь до 582–590 нм), то величину $C_{\text{отн}} = 10,1 \%$ следует считать аномально высокой. Поскольку при обычном возбуждении кристаллов йодида ртути (при возбуждении гамма-излучением радионуклидов) сцинтилляционная эффективность близка к нулю, наблюдаемая аномально высокая сцинтилляционная эффективность кристаллов HgI_2 $C_{\text{отн}} = 10,1 \%$ при воздействии на них сильноточных импульсных электронных пучков нано- и пикосекундного диапазона высокой плотности может быть обусловлена только пороговыми плотностными эффектами перколяционного характера. Этому способствует невысокая энергия образования пары носителей заряда, равная 4,2 эВ. В затухании сцинтилляций HgI_2 наблюдается только одна компонента экспоненциального характера с длительностью $2,1 \pm 0,07 \text{ мкс}$, что соизмеримо со временем жизни дырок 2,5 мкс в HgI_2 . По-видимому, рекомбинационный процесс, ответственный за сцинтилляции в HgI_2 , определяется дырочной компонентой.

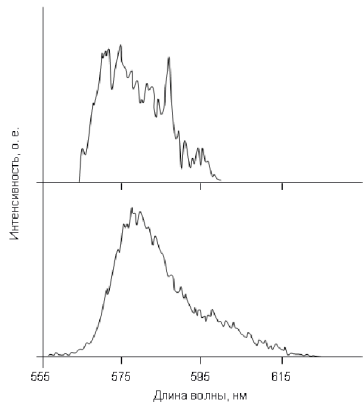
Свойства сцинтилляторов, измеренные при воздействии импульсных электронных пучков с энергией 160 – 200 кэВ при плотности тока $300 \pm 100 \text{ А/см}^2$

Как видно из табл. 3, предлагаемый сцинтиллятор на основе HgI_2 обладает более высоким эффективным атомным номером $Z_{\text{эф}} = 67,3$, нежели широко применяемый промышленный сцинтиллятор CsI:Tl , т. е. он более, нежели эталон, пригоден для регистра-

ции высокоэнергетического излучения высокой плотности. Основным преимуществом предлагаемого сцинтиллятора на основе HgI₂ в сравнении с эталоном CsI:TI и другими известными сцинтилляторами является его избирательность к электронным сильноточным пучкам нано- и пикосекундной длительности, он их уверенно (с эффективностью 10,1 % относительно CsI:TI) регистрирует на фоне ядерных альфа-, бета-, гамма-излучений, оставаясь практически нечувствительным к последним как сцинтиллятор.

Формула изобретения

Применение кристаллического дийодида ртути тетрагональной модификации в качестве неорганического сцинтиллятора для регистрации сильноточных импульсных пучков электронов нано- и пикосекундной длительности.



Фиг. 1

Таблица 1

Образцы	Свойства сцинтиллятора						Примечание
	Zэф	Cотн	λmax, нм	τ, мкс	Время жизни носителей заряда, мкс		
					электрон	дырки	
Hgl2, образец 1	67,3	10,0	575 – 580	1,96	1,0	2,5	Практически не чувствителен как сцинтиллятор к альфа-, бета-, гамма-излучениям радионуклидов
Hgl2, образец 2	67,3	10,0	575 – 580	2,21	1,0	2,5	
Hgl2, образец 3	67,3	10,0	575 – 580	2,14	1,0	2,5	
CsI:Tl (эталон)	54	100	565	1,0	—	—	Чувствителен как сцинтиллятор к альфа-, бета-, гамма-излучениям радионуклидов

Реферат

Сущность изобретения: устройство таймирования спектрометрических импульсов, содержит последовательно включенные таймирующий компаратор, преобразователь «время–амплитуда» и амплитудный дискриминатор. Дополнительно содержит последовательно включенные между собой нуль-компаратор, нормально-закрытый линейный пропускатель и формирователь пороговых импульсов. При этом сигнальные входы таймирующего и нуль-компараторов соединены между собой и с аналоговым входом устройства таймирования, выход нуль-компаратора подключен ко входу управления линейного пропускателя, чей аналоговый вход является входом порогового напряжения, равного амплитудному значению шума, выход – входом формирователя пороговых импульсов, выход которого соединен с пороговым входом таймирующего компаратора.

Описание изобретения

Изобретение относится к ядерной электронике, точнее, к полупроводниковым спектрометрам ионизирующих излучений низких энергий.

В современных спектрометрах энергий ионизирующих излучений с полупроводниковыми детекторами (ППД) все большее распространение находят различные устройства таймирования спектрометрических импульсов, т. е. временной привязки к ним. Упомянутые устройства используются в инспекторах наложенных событий, во многом определяя эффективность режекции наложенных событий (Глушковский М. Е. Быстродействующие амплитудные анализаторы в современной ядерной физике и технике / М. Е. Глушковский. М.: Энергоатомиздат, 1986. 128 с). Другое их применение создание спектрометров с упрощенной формой аппаратурной линии (спектрометры полного поглощения с защитой от анисовпадениями, «комптоновские» и «парные» спектрометры) а также других установок для корреляционных измерений (Canterra Nuclear Products Groop. Catalog, CaTioe nine.; Ortec E. G., Ortec G. Modelar Pulse-Processing Electronics und Semiconductor Radiatloe Detectors. 1995. P. 540). Еще одно важное применение устройств таймирования управление запуском спектрометрических формирователей времени-вариантного типа (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1989. 340 с).

Существует ряд принципов построения и множество схемных реализаций устройств таймирования спектрометрических импульсов. Наиболее известные методы таймирования: а) метод постоянного порога «LET» (LeadIng Ege Timing), б) метод привязки к пересечению нуля «ZCT» (Zero Cross Timing), в) метод «следающего» порога «CFT» (Constant Fraction Timing) (Мейлинг В. Наносекундная импульсная техника / В. Мейлинг, Ф. Стари. М.: Атомиздат, 1973. 384 с.; Мелешко Е. А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике / Е. А. Мелешко. М.: Энергоатомиздат, 1987. 215 с).

Все перечисленные методы успешно применяются в сцинтилляционных спектрометрах, а также в полупроводниковых спектрометрах средних и высоких энергий ($E > 150 - 200$ кэВ), где отношение сигнала к шуму достаточно высоко и во временном канале спектрометра можно не заботиться об оптимальной фильтрации шума.

Три основных параметра характеризуют устройство таймирования, применяемое в полупроводниковых спектрометрах рентгеновского диапазона (0,5 – 150 кэВ):

- 1) смещение временной отметки по отношению к началу импульса;

2) временная неопределенность временной отметки, которая при идеально быстром дискриминаторе имеет 2 составляющие «гуляние» (walk), т. е. зависимость отметки от амплитуды и «дрожание» (jitter) под действием шумов;

3) минимальная детектируемая амплитуда.

Методы таймирования а) и в) могут обеспечить при определенных условиях несмещенную или мало смещенную временную отметку. Метод б) всегда дает смещенную временную отметку, момент привязки отстоит от начала исходного, подвергаемого дифференцированию, импульса на время, не меньшее, чем его пиковое время.

Ряд устройств ядерной электроники требуют для своего успешного функционирования применения ARTC схем с несмещенной (малосмещенной) временной отметкой. Это необходимо для организации селекции импульсов по времени нарастания в спектрометрах с большеобъемными германиевыми детекторами; в спектрометрах с так называемыми «теплыми» полупроводниковыми HgI_2 , $CdTe$ детекторами, а в последнее время и с «теплыми» кремниевыми ППД. Во всех этих спектрометрах часть спектрометрических импульсов искажена баллистическим «дефицитом» и «трэппинг» эффектом (Loo B. W. Ballistic Deficits in pulse shaping amplifiers / B. W. Loo, F. S. Goulding, D. Goo // IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1988. Vol. 35, № 1. P. 114–118), т. е. их амплитуда непропорциональна энергии кванта, поглощенного в ППД. Такие события идентифицируют, в частности, по времени нарастания. Для этого можно применять два таймирующих устройства. Временная отметка первого из них (ARTC) должна быть нечувствительна к флуктуациям формы и амплитуды и соответствовать началу импульса, а отметка второго должна быть инвариантной лишь по отношению к изменениям амплитуды. Чаще всего в качестве устройства таймирования, чувствительного к флуктуациям формы импульсов используют ZCT схемы, а их временные отметки совпадают с максимумом неискаженного спектрометрического импульса (Goulding F. S. Ballistic Deficits Correction In Semiconductor Detector Spectrometers / F. S. Goulding, D. A. Landis. IEEE Trans. on Nucl. Sci. 1988. № 1. P. 114–118). Подобным образом можно инспектировать и наложенные во времени события.

Большинство современных ARTC таймирующих устройств используют известный принцип, иллюстрируемый на фиг. 1 (Мелешко Е. А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике / Е. А. Мелешко. М.: Энергоатомиздат, 1987. 215 с).

Компаратор K_1 является таймирующим, а K_2 служит цели предотвращения ложных срабатываний от шумовых сигналов. Входной сигнал поступает на два входа таймирующего компаратора K_1 . На прямой вход с задержкой T_3 , а на инверсный поступает фракция $f = R_2 / (R_1 + R_2)$. Компаратор K_1 реагирует на момент пересечения разностным биполярным сигналом ($U_c - U_b$). Для случая линейного фронта входного сигнала точка отметки T_0 дается выражением:

$$T_0 = T_3 \cdot (1 - f). \quad (1)$$

При этом электрическая длина линии задержки T_3 выбирается из условия:

$$T_3 \approx T_{H \min} \cdot (1 - f), \quad (2)$$

где $T_{H \min}$ – минимальное время нарастания входного сигнала.

При отсутствии защитного компаратора K_2 шумовые импульсы вызывают большое число ложных срабатываний устройства таймирования. Из временных диаграмм на фиг. 1, б видно, что наличие K_2 исключает их путем стробирования K_1 . Нечувствительность устройства таймирования к изменению формы сигнала тем выше, чем ближе момент таймирования T_0 к началу импульса, т. е. согласно (Глушковский М. Е. Быстродействующие амплитудные анализаторы в современной ядерной физике и технике / М. Е. Глушковский. М.: Энергоатомиздат, 1986. 128 с) тем меньше задержка T_3 или фракция f . Стремление увеличить точность хронирования в условиях переменной формы

спектрометрических импульсов приводит к росту минимальной детектируемой амплитуды (пунктир на фиг. 1, б) из-за позднего поступления на K_1 разрешающего сигнала от K_2 . Таким образом, классическая схема малоприменима там, где велик относительный уровень шума, т. е. в ППД-спектрометрах низких и средних энергий.

Существует устройство таймирования класса ARTC, свободное от недостатка, присущего классической схеме. Это устройство (Gal J. Zero Grossing Discrimination Technique for Constant Fraction Timing / J. Gal, G. Bilok // Instrum. and Meth. 1979. Vol. 163. P. 535 – 539) является прототипом. Его функциональная схема приведена на фиг. 2, а временные диаграммы на фиг. 3.

Устройство-прототип содержит таймирующий компаратор, к выходу которого подключен преобразователь «время амплитуда» (формирователь пилообразного напряжения); на выходе преобразователя « $T \rightarrow A$ » включены амплитудный дискриминатор и перестраиваемый аттенюатор пилообразного напряжения, чей выход соединен со входом порогового напряжения компаратора нуля. Сигнальный вход этого компаратора является аналоговым входом устройства таймирования, а выход амплитудного дискриминатора является выходом устройства таймирования.

Устройство-прототип работает следующим образом (фиг. 3). На аналоговый вход устройства (эпюра U_a) поступает аддитивная смесь электронных шумов и несимметричных биполярных импульсов, точка пересечения нуля которых достаточно близка к началу сигнала. Положение этой точки на временной оси жестко связано с началом исходного спектрометрического импульса.

Исходный порог таймирующего компаратора равен нулю, поэтому он реагирует на каждый шумовой импульс (или их суперпозицию) положительной полярности. На выходе таймирующего компаратора образуются логические импульсы с переменной длительностью, в зависимости от времени превышения процессом порогового напряжения таймирующего компаратора (эпюра U_b).

На выходе преобразователя «время амплитуда» образуется квазилинейное напряжение (эпюра U_c) с амплитудой, пропорциональной длительности сигналов на выходе компаратора нуля. Атенюированное пилообразное напряжение преобразователя поступает в качестве порогового напряжения на соответствующий вход компаратора нуля (эпюра U_d).

Выделение полезных сигналов на фоне шума базируется на факте различной их длительности, а именно шумовые сигналы в силу их статистической природы всегда короче, чем спектрометрические импульсы. Порог амплитудного дискриминатора устанавливается таким образом, чтобы его срабатывание происходило вблизи вершины биполярного сигнала, а коэффициент аттенюации пилообразного напряжения выбирается из условия, чтобы средняя частота ложных срабатываний устройства таймирования на шумовые импульсы не превышала заранее заданного предела (обычно 10^{-100} Гц). Совершенно очевидно, что если порог амплитудного дискриминатора соответствует точке максимума спектрометрического импульса, то величина аттенюированного пилообразного напряжения в этот момент может не превышать амплитудного значения шумов. Таким образом, устройство-прототип осуществляет привязку к началу спектрометрического импульса в максимально широком амплитудном диапазоне, расширенном за счет дискриминации по длительности в область малых амплитуд.

Однако устройство-прототипу (Gal J. Zero Grossing Discrimination Technique for Constant Fraction Timing / J. Gal, G. Bilok // Instrum. and Meth. 1979. Vol. 163. P. 535 – 539) свойствен серьезный недостаток. Он обусловлен тем, что таймирующий компаратор оказывается охваченным петлей отрицательной обратной связи через преобразователь «время амплитуда» и перестраиваемый аттенюатор, что накладывает жесткие ограничения на амплитудно-частотную характеристику таймирующего компаратора, величины частотного полюса, связанного с преобразователем «время амплитуда» и коэффици-

ент аттенюации пилообразного напряжения. При достаточно большом коэффициенте усиления по постоянному току компаратора и неодолюемой его передаточной характеристике схема, содержащая таймирующий компаратор и преобразователь «время амплитуда», самовозбуждается, становясь генератором колебаний (Бессекерский В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бессекерский, В. П. Попова. М.: Наука, 1975. 768 с.; Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / И. С. Гоноровский. 4-е изд. М.: Радио и связь, 1986. 512 с).

Применение в устройстве-прототипе относительно медленных прецизионных компараторов типа 597СА3 и подобных им, имеющих усиление по напряжению около $K_v \approx 2 \cdot 10^5$ и многополюсную амплитудно-частотную характеристику, заставляет для достижения устойчивости к генерации сильно ослабить пилообразное напряжение, поступающее на пороговый вход компаратора нуля. Это необходимо, чтобы на тех частотах, где фазовый сдвиг достигает 180° , «петлевое» усиление было менее 1 (условие отсутствия генерации). Однако, если уровень шума относительно велик, как это имеет место в рентгеновских спектрометрах, то схема оказывается неработоспособной, поскольку, как отмечалось выше, ослабить пилообразное напряжение в момент таймирования должно превышать пиковые значения шума. Например, для типичного спектрометра с CdTe «теплым» ППД пиковые значения шума составляют около 1,5 кэВ (шумовые выбросы одной полярности), что на шкале 15 кэВ дает отношение сигнала к шуму не более 10. Если размах пилообразного напряжения (эпюра U_c) 5 В, а амплитуда спектрометрических импульсов 10 В (эпюра U_d), то порог U_d в момент таймирования должен быть не менее 1 В. Отсюда коэффициент передачи аттенюатора $K_{Att} = 0,2$, а «петлевое» усиление от точки «а» до точки «д» оказывается равным: $A_c = K_v \cdot K_{Att} = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,2 = 4 \cdot 10^4$.

В схемах, в которых приняты специальные меры по созданию квазиоднополюсной передаточной характеристики и с операционными усилителями с временем реакции порядка 50 – 100 нс, «петлевое» усиление редко превышает $(10 - 20) \cdot 10^3$. При большем петлевом усилении для устойчивости требуется частотная коррекция.

Изобретение сохраняет все достоинства устройства-прототипа, но свободно от его недостатка неустойчивости к самовозбуждению при низком отношении сигнала к шуму. Функциональная схема предлагаемого устройства приведена на фиг. 4, а временные диаграммы на фиг. 5.

Устройство таймирования содержит, как и прототип, последовательно включенные таймирующий компаратор нуля 1, время-амплитудный преобразователь 2 и амплитудный дискриминатор 3. Кроме того, предлагаемо устройство таймирования содержит последовательно включенные между аналоговым входом устройства и пороговым входом таймирующего компаратора нуль-компаратор 4, линейный пропускатель 5 и формирователь пороговых импульсов 6. На аналоговый вход линейного пропускателя 5 от внешнего устройства подается пороговое напряжение, соответствующее пиковой амплитуде шума. Предлагаемое устройство таймирования спектрометрических импульсов работает следующим образом. В исходном состоянии, т. е. при отсутствии шумовых импульсов положительной полярности, выход нуль-компаратора 4 находится в положении «0», линейный пропускатель 5 закрыт, пороговое напряжение таймирующего компаратора 1 равно нулю и его выход в состоянии «0». Соответственно в нулевом состоянии находятся выходы преобразователя «время амплитуда» (поз. 2) и амплитудного дискриминатора (поз. 3).

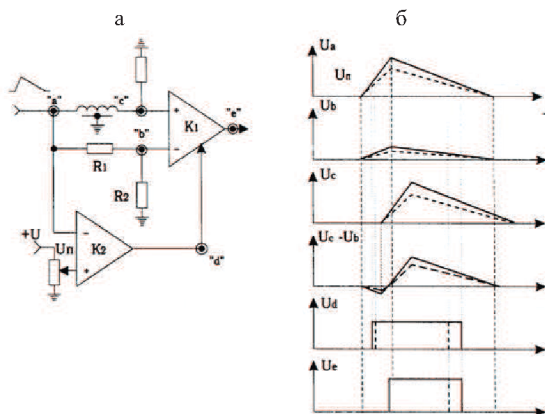
Появление на входе устройства таймирования шумового или спектрометрического импульса приводит к одновременному срабатыванию таймирующего и нуль-компараторов, как только сигнал превысит нулевое значение (эпюры U_b и U_f на фиг. 5). При этом длительность сигнала U_f равна времени превышения импульсом нулевого значения, а длительность сигнала U_b зависит от уровня шума, в соответствии с которым устанавливается порог U_{Th} и длительности сигнала. Срабатывание нуль-компаратора вы-

зывает открытие линейного пропускателя 5, на выходе которого образуется прямоугольный импульсный сигнал с амплитудой, пропорциональной величине порога U_{Th} (эпюра U_g на фиг. 5). Назначение и формирователя пороговых импульсов 6 состоит в предании требуемой формы импульсному пороговому напряжению U_d таймирующего компаратора 1. Оптимальный случай совпадение форм спектрометрического и порогового импульсов на интервале $\Delta T \cdot T_{\text{реак}}$ от момента пересечения нуля до максимума спектрометрического импульса. Это обеспечивает обнаружение спектрометрических импульсов с амплитудой вблизи уровня шума. Рост порогового напряжения U_d выбирается таким, чтобы в момент максимума спектрометрического импульса U_a оно достигало значения U_{Th} , равного амплитудному значению шума. Если импульс шумового происхождения, то за время $T_{\text{реак}}$ его амплитуда станет меньше, чем U_{Th} и компаратор 1 сбросится в «0». Следовательно, линейно растущее напряжение на выходе преобразователя «время амплитуда» не достигнет значения U_{ref} , амплитудный дискриминатор не сработает и сигнал временной отметки не возникнет. Если импульс спектрометрический (на эпюре U_a выделен штриховкой), длительность выходного импульса таймирующего компаратора превысит $\Delta T \cdot T_{\text{реак}}$, соответственно сработает амплитудный дискриминатор.

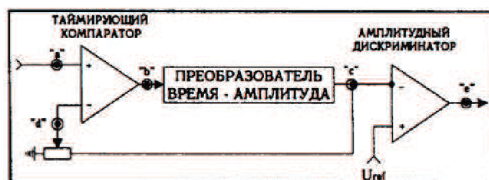
Предложенное устройство обладает всеми достоинствами прототипа, но в нем принципиально невозможно самовозбуждение, так как таймирующий компаратор 1 не охвачен цепью отрицательной обратной связи как в предыдущей схеме.

Формула изобретения

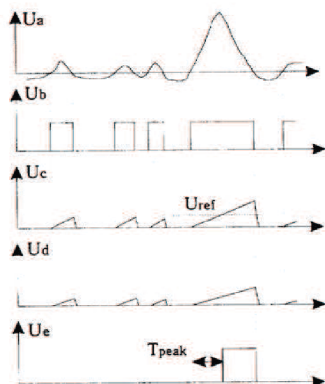
Устройство таймирования спектрометрических импульсов, содержащее последовательно включенные таймирующий компаратор, преобразователь время–амплитуда и амплитудный дискриминатор, отличающееся тем, что оно дополнительно содержит последовательно включенные между собой нуль-компаратор, нормально-закрытый линейный пропускатель и формирователь пороговых импульсов, при этом сигнальные входы таймирующего и нуль-компараторов соединены между собой и с аналоговым входом устройства таймирования, выход нуль-компаратора подключен к входу управления линейного пропускателя, чей аналоговый вход является входом порогового напряжения, равного амплитудному значению шума, выход входом формирователя пороговых импульсов, выход которого соединен с пороговым входом таймирующего компаратора.



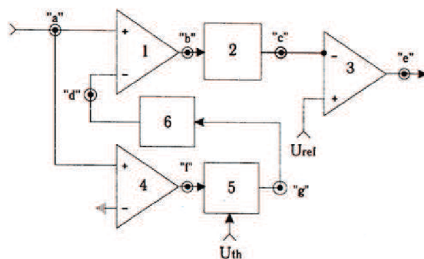
Фиг. 1. Стандартное ARTC таймирующее устройство
(Мелешко Е. А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике /
Е. А. Мелешко. М.: Энергоатомиздат, 1987. 215 с)



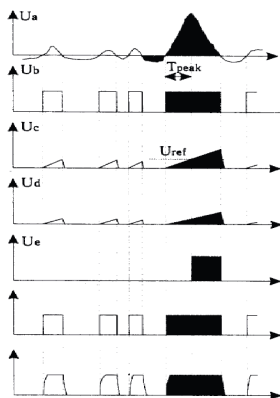
Фиг. 2. Функциональная схема ARTC таймирующего устройства (Gal J. Zero Crossing Discrimination Technique for Constant Fraction Timing / J. Gal, G. Bilok // Instrum. and Meth. 1979. Vol. 163. P. 535 – 539)



Фиг. 3. Эпюры напряжений ARTC таймирующего устройства (Gal J. Zero Crossing Discrimination Technique for Constant Fraction Timing / J. Gal, G. Bilok // Instrum. and Meth. 1979. Vol. 163. P. 535 – 539)



Фиг. 4. Функциональная схема предлагаемого устройства



Фиг. 5. Временные диаграммы работы предлагаемого устройства

Патент № 2107279 РФ. Способ определения пористости ядерных мембран / Ю. Г. Лазарев, Ф. Г. Нешов, Б. В. Шульгин, А. В. Кружалов, В. И. Радченко. Заявл. 17.07.1996; опубл. 20.03.1998. Бюл. № 8.

Реферат

Предложен способ определения ядерных мембран путем выделения и обработки сигналов, связанных с порами. Изобретение относится к области мембранных фильтров на основе ядерных трековых мембран, применяемых для очистки питьевой воды и воды для медпрепаратов, для фильтрации плазмы крови и биологических жидкостей, для фильтрации особо чистых помещений.

Суть способа заключается в том, что мембрану помещают в камеру облучения и облучают пучком ускоренных на циклотроне частиц, а выделение сигналов, связанных с порами, осуществляют путем измерения энергетического спектра частиц, прошедших через поры и непосредственно через пленку мембраны, затем определяют площади энергетических пиков частиц, прошедших через поры и пленку мембраны, а по их отношению определяют пористость, исходя из выражения:

$$\varepsilon = \frac{N_0}{N_0 + N_1 + N'},$$

где N_0 – число частиц, зарегистрированных в участке энергетического спектра вблизи максимальной энергии E_0 ; N_1 – число частиц, зарегистрированных в участке энергетического спектра вблизи минимальной энергии T_1 ; N' – число частиц, зарегистрированных в участке энергетического спектра в промежуточной области между E_0 и E_1 .

Описание изобретения

Изобретение относится к области мембранных фильтров на основе ядерных трековых мембран, применяемых для очистки питьевой воды и воды для медпрепаратов, для фильтрации плазмы крови и биологических жидкостей, для фильтрации воздуха особо чистых помещений (больничных операционных, промышленных помещений для производства прецизионных средств микроэлектроники, производства компакт-дисков).

Известны способы определения пористости ядерных мембран (Обратный осмос и ультрафильтрация / Ю. И. Датнерский. М.: Химия, 1978. 351 с.; Томас Д. Мембранная фильтрация / Д. Томас. М.: Мир, 1987. 462 с).

Прямой метод. Образец разрушают и оценивают объем твердой части пористого образца. Пористость определяют по формуле

$$\varepsilon = 1 - \frac{V_{\text{тв}}}{V_{\text{м}}}, \quad (1)$$

где ε – общая пористость; $V_{\text{тв}}$ – объем твердой части образца; $V_{\text{м}}$ – объем образца мембраны в целом. Однако прямой метод является деструктивным, т. е. связан с разрушением образца. Другим недостатком прямого метода является то, что он учитывает не только открытые, но и закрытые поры, что искажает информацию.

Весовой метод. Рассчитывают долю объема по формуле

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{м}} - \frac{G_{\text{об}}}{100} \left(\frac{a_1}{\rho_1} + \dots + \frac{a_i}{\rho_i} \right)}{V_{\text{м}}}, \quad (2)$$

где $G_{\text{об}}$ – масса образца; a_i и ρ_i – соответственно процентное содержание и плотность i -й составной части мембраны. Однако указанный метод может быть применен для случаев,

когда известен состав мембраны, а также содержание и плотность каждой составной части мембраны. Весовой метод дает информацию обо всех порах (он одновременно учитывает и открытые и закрытые поры) и, соответственно, искажает информацию о производительности мембран.

Метод расширения газа. Образец мембраны помещают в наполненный газом сосуд, затем этот сосуд соединяют с другим, из которого газ эвакуирован. Зная первоначальное P_1 и конечное P_2 давления в сосуде, рассчитывают величину

$$\varepsilon_0 = \frac{V_m - V_0 + V'_0 \frac{P_2}{P_1 - P_2}}{V_m}, \quad (3)$$

где V_0 и V'_0 – объем сосуда с образцом и без образца соответственно; P_1 и P_2 – начальное и конечное давления в сосуде. Однако метод расширения газа является весьма грубым, он имеет невысокую точность.

Метод пропитки (Томас Д. Мембранная фильтрация / Д. Томас. М.: Мир, 1987. 462 с). Образец мембраны, предварительно взвешенный, насыщают смачивающей жидкостью и проводят взвешивание повторно, после чего рассчитывают

$$\varepsilon_0 = \frac{G'_{об} - G_{об}}{V_m \rho_{ж}}, \quad (4)$$

где $G_{об}$ – масса образца, насыщенного жидкостью, $\rho_{ж}$ – плотность жидкости. Однако для тонких мембран и этот метод плохо пригоден из-за большой ошибки в определении пористости.

Известен также метод пропитки в сочетании с оптическим методом, когда образец мембраны приводят в соприкосновение с поверхностью равнобедренной стеклянной призмы, представляющей собой поверхность полного отражения. По мере заполнения под жидкостью растет доля площади основания призмы, на которой полное отражение нарушено. Однако метод пропитки в сочетании с оптическим методом обладает невысокой точностью определения пористости мембран.

Все рассмотренные известные способы определения пористости мембран имеют невысокую точность.

Суть предлагаемого метода заключается в проведении энергетического анализа частиц, например ионов гелия (6 – 8 МэВ) или ионов азота (16,2 МэВ), прошедших через ядерную трековую мембрану, сориентированную относительно пучка ионов так, что оси пор (параллельные друг другу) располагаются параллельно траектории ионов коллимированного пучка. Соотношение площадей энергетических пиков частиц, прошедших непосредственно через пленку и через поры в ней, определяет суммарную площадь пор, приходящихся на единицу поверхности, т. е. определяет пористость ядерной мембраны.

Дополнительным преимуществом предлагаемого метода определение пористости ядерных мембран является возможность определения конусности отверстий ядерных мембран, поскольку ионы, прострелившие конусообразную часть отверстий (пор) имеют промежуточную энергию.

Пример осуществления способа. Для определения пористости ядерной трековой мембраны (толщиной 5,3 мкм) последнюю помещают в камеру облучения циклотронным пучком ионов азота, ускоренных до энергии $E_0 = 16,4$ МэВ. Энергетический анализ частиц, прошедших через пленку и поры в ней, проводят с помощью полупроводникового детектора и анализатора импульсов. Ионы азота, прошедшие непосредственно через поры в ядерной мембране, не меняют своей первоначальной энергии E_0 , в то время как

ионы, прошедшие через пленку, теряют в ней часть энергии и имеют на выходе уменьшенную энергию E' . На фиг. 1 приведен характерный энергетический спектр ионов азота, прошедших через трековую мембрану. Участки спектра вблизи E_0 и E_1 , соответствуют частицам, которые пролетели сквозь мембраны без столкновений и через основной слой пленки соответственно. Ионы, так или иначе прострелившие конусообразную часть отверстий (пор), имеют промежуточную энергию E' .

Пористость мембраны определяют, исходя из выражения

$$\varepsilon = \frac{N_0}{N_0 + N_1 + N'}, \quad (5)$$

где N_0 – число частиц, зарегистрированных в участке энергетического спектра вблизи максимальной энергии E_0 ; N_1 – число частиц, зарегистрированных в участке энергетического спектра вблизи минимальной энергии E_1 ; N' – число частиц, зарегистрированных в участке энергетического спектра в промежуточной области между E_0 и E_1 . Из спектра (фиг. 1) с помощью последней формулы получены значения поверхностной пористости.

Предлагаемый способ позволяет для мембраны толщиной T делать оценку формы и размеров конусной части пор (фиг. 2). Оценку отношения диаметров поры на поверхности пленки d_1 и в цилиндрической части d_0 (фиг. 2) проводят по формуле

$$\frac{d_1}{d_0} \approx \sqrt{\frac{N_0 + N'}{N_0}}, \quad (6)$$

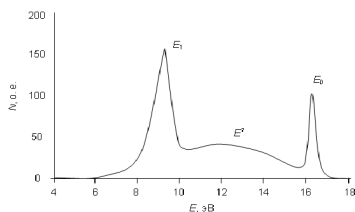
где N_0 и N' то же, что и в формуле (5). Таким образом, предлагаемый метод позволяет определить с достаточной точностью пористость мембраны.

Формула изобретения

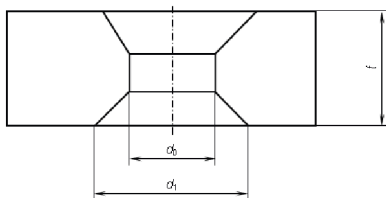
Способ определения пористости ядерных мембран путем выделения и обработки сигналов, связанных с порами, отличающийся тем, что мембрану помещают в камеру облучения и облучают пучком ускоренных на циклотроне частиц, а выделение сигналов, связанных с порами, осуществляют путем измерения энергетического спектра частиц, прошедших через поры и непосредственно через пленку мембраны, затем определяют площади энергетических пиков частиц, прошедших через поры и пленку мембраны, а по их отношению определяют пористость, исходя из выражения

$$\varepsilon = \frac{N_0}{N_0 + N_1 + N'},$$

где N_0 – число частиц, зарегистрированных в участке энергетического спектра вблизи максимальной энергии E_0 ; N_1 – число частиц, зарегистрированных в участке энергетического спектра вблизи минимальной энергии E_1 ; N' – число частиц, зарегистрированных в участке энергетического спектра в промежуточной области между E_0 и E_1 .



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент № 2129318 РФ. Устройство для измерения угловых распределений пучка ионов / Г. Д. Ведьманов, И. Р. Мухаметдинов, К. О. Хохлов. Заявл. 19.02.1997; опубл. 20.04.1999.

Реферат

Устройство для измерения угловых распределений пучка ионов используется для исследований в области физики ион-атомных столкновений, преимущественно в исследованиях взаимодействия пучка ионов с монокристаллической или газовой мишенью, а также может использоваться при легировании поверхностей ионным пучком.

Устройство содержит восьмиразрядный двоичный реверсивный счетчик, к выходам которого подключен восьмиразрядный сумматор. К второму входу сумматора подключено программируемое запоминающее устройство (ЗУ), позволяющее сдвигать выходной код сумматора. Адресные входы ЗУ подсоединены к мультиплексору, через который подключаются либо к реверсивному счетчику, либо к микропроцессорному контроллеру (МПК). К ЗУ подключена также схема управления реверсивным счетчиком. Девятиразрядный код сумматора поступает на внешнее накопительное устройство и на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), сигнал с которого подается на отклоняющие пластины посредством усилителя с парафазными выходами. Ионы, пролетая между пластинами отклоняются от первоначальной траектории и попадают на регистрирующий детектор, что приводит к запоминанию в накопительном устройстве кода, соответствующего углу отклонения. Для масштабирования выходного сигнала используется второй ЦАП, который задает опорное напряжение для первого. Управление вторым ЦАП, мультиплексором, программирование ЗУ, формирование тактовых импульсов для счетчика осуществляет МПК.

Технический результат заключается в получении программируемого линейно-ступенчатого отклонения пучка ионов. Положительным эффектом является повышение эффективности проведения физических исследований и повышение локальной прочности легированных деталей.

Описание изобретения

Изобретение относится к исследованиям физики ион-атомных столкновений, преимущественно к исследованиям взаимодействия пучка ионов с монокристаллической или газовой мишенью.

Известны устройства электростатического сканирования пучка ионов по поверхности мишени, использующие пару (несколько пар) отклоняющих пластин, на которые подается изменяющаяся разность потенциалов, чем достигается отклонение пучка ионов от первоначальной траектории (Пат. 2137409 Великобритании, H01J 37/317, H01L 21/425; пат. 4593200 США, H01J 37/256).

Известно устройство для внедрения ионов в мишень, отклоняющее пучок заряженных частиц (ЗЧ) по двум взаимно перпендикулярным плоскостям. Данное устройство содержит два комплекта взаимно перпендикулярных пластин, на которых можно изменять разность потенциалов с помощью управляющих устройств (УУ). Управляющее устройство каждого комплекта содержит реверсивный счетчик импульсов, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), фазорасщепитель и два выходных усилителя. На счетчик первого УУ подаются сигналы от генератора. Фазорасщепители преобразуют сигналы с ЦАП в два сигнала, симметричных относительно общей точки, которые после усиления в выходных усилителях поступают на отклоняющие пластины. Таким образом, на первый комплект пластин подается изменяющееся напряжение, на второй – постоянное. По завершении прохода пучка ЗЧ по мишени первое УУ выдает сигнал, вызывающий изменение напряжения на втором комплекте отклоняющих пластин на фиксированную величину. Одновременно переключается на обратное изменение напряжение на первом ком-

плекте пластин. Осуществляется линейное сканирование пучка ЗЧ по мишени (US 4260897 А, 1981).

Заявляемое изобретение позволяет повысить эффективность использования пучка ионов (времени работы ускорителя) за счет измерения только интересующих областей углового или зарядового распределения пучка ионов (например, вырезания малоинформационных промежутков с малой интенсивностью), а также повышение эффективности использования ресурса детектора и устранения перегрузки последующего за ним электронного спектрометрического тракта за счет возможности исключения областей спектра распределения пучка ионов, имеющих высокую интенсивность.

Поставленная задача решается изменением способа формирования выходного ПДК, соответствующего углу отклонения пучка ионов в первой плоскости сканирования. Для этого в схеме прототипа введены дополнительные блоки, связанные определенным образом, что позволило более гибко задавать режимы сканирования и получать широкие возможности задания числа и местоположения окон.

В предлагаемое устройство, построенное на базе МП-контроллера и содержащее восьмиразрядные двоичный реверсивный счетчик и сумматор, два ЦАП (вход первого из них подключен к выходу сумматора, вывод опорного напряжения первого подключен к выходу второго) и высоковольтный усилитель с парафазными выходами, к которым подключается первый комплект отклоняющих пластин, вместо схем сравнения, одного сумматора, ключа и схемы ИЛИ введены оперативно-запоминающее устройство (ОЗУ) кодов смещения, которое программируется МП-контроллером и выходные линии данных которого подключены к сумматору, двенадцатиразрядный мультиплексор, выходы которого подключены к линиям адреса и управления ОЗУ, вход управления и первые входы подключены к МП-контроллеру, а вторые – к выходам счетчика, схема управления, входы которой подключены к выходным линиям данных ОЗУ, а выход подключен к счетчику. В режиме сканирования выходной ПДК счетчика является адресом ОЗУ, что позволяет сдвигать выходной ПДК счетчика на величину кода, записанного в соответствующей ячейке памяти ОЗУ. Сложение ПДК счетчика и кода смещения, записанного в ОЗУ, осуществляет сумматор. Схема управления выделяет код OFFH, записанный в ОЗУ и являющийся признаком верхней границы угла сканирования, при этом выходной сигнал схемы управления переключает направление счета реверсивного счетчика на обратное. Мультиплексор необходим для программирования ОЗУ МП-контроллером до выхода в режим сканирования. Указанные блоки при данной взаимосвязи позволяют существенно повысить эффективность использования пучка ионов и времени проведения эксперимента за счет исследования только интересующих областей спектра углового или зарядового распределения рассеянного пучка ионов.

Кроме того, при использовании окон для исключения областей пика с высокой интенсивностью можно значительно повысить ресурс работы детекторов применительно к пиковым спектрам распределения, т.е. имеющим узкие области с большой интенсивностью потока ионов, вызывающие радиационное повреждение детектора и перегружающие спектрометрический тракт. В промышленности данное устройство может применяться для локального легирования поверхности деталей ионным пучком.

Разработано устройство (фиг. 1) на базе МП-комплекта 1821, состоящее из МП-контроллера 1, к которому подключены тактовый вход восьмиразрядного реверсивного счетчика 2, первый канал мультиплексора 4, ЦАП 3 и линии данных ОЗУ кодов смещения 6. Выходы реверсивного счетчика 2 подключены ко вторым входам мультиплексора 4 и к входам восьмиразрядного сумматора 5. Выходы мультиплексора 4 подключены к линиям адреса и управления ОЗУ 6. Выходные линии данных ОЗУ 6 подключены к сумматору 5 и к схеме управления 8. Сигнал переноса сумматора 5 образует девятый дополнительный разряд, который совместно с выходами сумматора 5 подключается к входу ЦАП 7. К выводу опорного напряжения ЦАП 7 подключен выход ЦАП 3. К выходу ЦАП

7 подключается высоковольтный усилитель 9 с парафазными выходами, к которым подключаются отклоняющие пластины.

Устройство работает следующим образом.

С пульта МП-контроллера вводятся числовые константы (начало и конец первого окна, затем - второго, и т.д.), проверяется отсутствие ошибок ввода и производится математическая обработка введенных чисел, после чего МП-контроллер 1 записывает в ОЗУ 6 ПДК, необходимые для реализации требуемого режима сканирования. Адреса ячеек памяти ОЗУ 6 поступают от МП-контроллера 1 через мультиплексор 4. МП-контроллер выводит заданное значение ПДК в ЦАП 3, после этого начинает выдавать тактовые импульсы на счетчик 2 и переключает мультиплексор 4, переводя тем самым устройство в режим сканирования. ПДК с выхода счетчика 2 поступает на сумматор 5 и через мультиплексор 4 на линии адреса ОЗУ 6. Сумматор 5 складывает ПДК счетчика 2 с величиной ПДК, записанного в соответствующей ячейке памяти ОЗУ 6. Выход переноса сумматора 5 образует девятый разряд выходного ПДК. Реверсивный счетчик 2 начинает работать в режиме прямого счета. При выделении схемой управления 8 кода 0FFH, записанного в ОЗУ 6 и являющегося кодом признака верхней границы угла сканирования, сигнал со схемы управления 8 переключает счетчик 2 в режим обратного счета. При достижении нулевого значения счетчик 2 автоматически переключается в режим прямого счета.

Этот процесс повторяется до прекращения поступления тактовых импульсов с МП-контроллера 1. Девятиразрядный выходной ПДК с выходов сумматора 5 поступает на ЦАП 7. Аналоговый сигнал с выхода ЦАП 7 усиливается высоковольтным усилителем 9 и подается на отклоняющие пластины. Пучок ионов проходит между этими пластинами и попадает на детектор. При регистрации иона детектором девятиразрядный выходной ПДК, соответствующий углу отклонения, передается во внешнее накопительное устройство. Опорное напряжение для ЦАП 7 формируется ЦАП 3 и задается шестиразрядным ПДК, поступающим на ЦАП 3 от МП-контроллера.

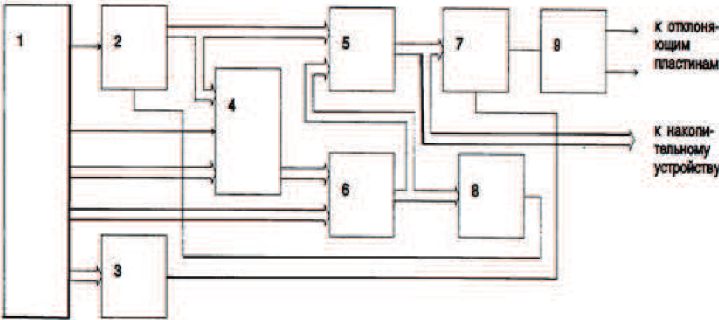
Использование предлагаемого устройства позволяет существенно повысить эффективность исследований в области физики ион-атомных столкновений, в частности изучение угловых и зарядовых распределений рассеянного пучка ионов, взаимодействовавшего с газовой или монокристаллической мишенью, снизить затраты времени на проведение эксперимента, экономить время работы ускорителя, снизить трудоемкость ведения эксперимента за счет применения микропроцессорного управления, повысить срок службы дорогостоящих детекторов и устранить перегрузки электронного спектрометрического тракта, что существенно влияет на точность измерений.

Возможно применение устройства в процессах легирования поверхностей ионным пучком для получения неоднородных зависимостей от координаты.

Формула изобретения

Устройство для измерения угловых распределений пучков ионов, содержащее восьмиразрядный двоичный реверсивный счетчик, восьмиразрядный сумматор, входы которого подключены к выходам счетчика, два цифроаналоговых преобразователя, входы первого подключены к выходам сумматора, выход второго подключен к выводу опорного напряжения первого, высоковольтный усилитель с парафазными выходами, к которым подключены отклоняющие пластины, а вход подключен к выходу первого цифроаналогового преобразователя, отличающееся тем, что в устройство введены запоминающее устройство, выходные линии данных которого подключены к сумматору, схема управления, входы которой подключены к выходным линиям данных запоминающего устройства, а выход подключен к выводу управления направлением счета счетчика, мультиплексор, выходы которого подключены к линиям адреса и управления запоминающего устройства, вторые входы подключены к счетчику, а первые входы подключены к

микропроцессорному контроллеру, к которому также подключаются линии данных запоминающего устройства, второй цифроаналоговый преобразователь и тактовый вход счетчика.



Фиг. 1

Паент №. 2140660 РФ. Способ обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений / Л. В. Викторов, А. В. Кружалов, А. С. Шеин, Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин. Заявл. 10.02.1998; опубл. 27.10.1999. Бюл. № 30.

Реферат

Предложен способ обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений от подвижных и неподвижных, открытых и закрытых бета-, гамма- и нейтронных источников с использованием ионизационных счетчиков (пропорциональных или счетчиков Гейгера) или сцинтилляционных детекторов. Суть изобретения заключается в том, что перед началом контроля объектов определяют порог Q_0 в соответствии с задаваемой оператором вероятностью ложных срабатываний по таблицам для нормального распределения, затем измеряют среднюю скорость счета фона b за время T_b и среднюю скорость счета аддитивной смеси сигнала и фона n , полученную за время T_n нахождения объекта контроля в поле зрения детектора, далее определяют параметр η путем обработки результатов измерений по формуле

$$\eta = \frac{n - b}{\sqrt{\frac{n}{t_n} + \frac{b}{t_b}}},$$

который сравнивают с порогом Q_0 для принятия решения о результате обнаружения. Если $\eta > Q_0$, то принимают решение об обнаружении, в противном случае принимают решение о необнаружении. Технический результат заключается в том, что изобретение позволяет снизить минимальный обнаруживаемый сигнал до уровня, близкого к теоретическому пределу. Дополнительным преимуществом данного способа является возможность достижения наибольшей вероятности обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги.

Описание изобретения

Заявляемый способ относится к области оперативного радиационного контроля с использованием ионизационных счетчиков (пропорциональных или счетчиков Гейгера) или сцинтилляционных детекторов и предназначен для обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений (ИИ) от подвижных и неподвижных, открытых и закрытых бета-, гамма- и нейтронных источников. Заявляемый способ может применяться в стационарных или носимых (портативных) устройствах для радиационного контроля на железнодорожных и автомобильных трассах, на пограничных блокпостах, на таможенных пунктах досмотра и складирования, на складах свежего ядерного топлива атомных электростанций, на постах входного и выходного контроля предприятий атомной и других отраслей промышленности, для государственного, ведомственного и частного контроля территорий, отвалов, складов (металлолома и других), оборудования, автомобилей, банковских купюр, ценных бумаг и продуктов питания всех видов.

Известны способы обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений, используемые в портативных устройствах оперативного радиационного контроля (Дозиметр поисковый микропроцессорный ДПС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997.; Дозиметр-радиометр ДРБП-03. Паспорт ГКПС 14.00.00.000 ПС. М.: ВНИИФТРИ, 1996.; Радиометр-дозиметр МКС-06Н INSPECTOR. Паспорт. М.: ТОО «Грин Стар», 1996). Такие устройства представляют собой, как правило, портативные радиометры-дозиметры, в которые введено электронное пороговое устройство, и соответствующая звуковая и (или) световая сигнализация превышения порога.

В упомянутых устройствах (системах) применяются различные счетные детекторы ионизирующих излучений. В этом состоит одно из ключевых отличий устройств регистрации ионизирующих излучений от систем обнаружения, используемых в радиотехнике (в системах связи) и в радиолокации (Репин В. Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптации информационных систем / В. Г. Репин, Г. П. Артаковский. М.: Сов. радио, 1977. 432 с.; Шереметьев А. Г. Статистическая теория лазерной связи / А. Г. Шереметьев. М.: Связь, 1979). Сущность этого отличия происходит из природы ионизирующего излучения, которое является всегда потоком квантованным (гамма-кванты, нейтроны и т. п), подчиняющимся Пуассоновской статистике, тогда как в радиотехнике практически всегда имеют дело с нормальным белым шумом.

Так, в одной из новейших разработок – дозиметре поискового типа ДРС-РМ1401 (Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997), построенном на базе сцинтилляционного счетчика с фотодиодом, используется простейший способ обнаружения, основанный на жестком алгоритме контроля и сводящийся к следующей последовательности операций: перед началом контроля проверяемых объектов измеряется количество импульсов фонового излучения N_b за время $T_b = 36$ с; прибор переключается в режим оперативного контроля, т. е. измеряется количество импульсов излучения от контролируемого объекта N_0 в течение интервала контроля $T_n = 2$ с; (физически величина N_0 пропорциональна средней скорости счета аддитивной смеси сигнала и фона n , полученной за время T_n нахождения объекта контроля в поле зрения детектора – $N_0 = n T_n$); вычисляется порог $Q = b T_n + m \sigma$, где $\sigma = (N_b)^{1/2}$ – среднеквадратическое отклонение величины N_b ; m – число, равное количеству среднеквадратических отклонений; $b = N_b/T_b$ – средняя скорость света фона. Полученное N_0 сравнивается с порогом Q ; если $N_0 > Q$, то принимается решение об обнаружении (включается световой или звуковой сигнал «тревоги»); в противном случае принимается решение о необнаружении источника ИИ. Основным недостатком описанного способа обнаружения является жесткость задаваемых порогов для обнаружения источников ИИ, что не позволяет получить низкие пороги обнаружения.

Способ обнаружения, используемый в дозиметре-радиометре типа ДРБП-03 (Дозиметр-радиометр ДРБП-03. Паспорт ГКПС 14.00.00.000 ПС. М.: ВНИИФТРИ, 1996), построен на применении еще более жесткого алгоритма, чем используемый в первом дозиметре (Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997); в нем даже количество среднеквадратических отклонений (с. к. о) m не изменяется и всегда равно $m = 4$. Это приводит к загромождению порогов обнаружения и к увеличению вероятности пропуска слабого источника ИИ при прочих равных условиях. Аналогично построен способ обнаружения слабых источников ИИ в радиометре-дозиметре МКС-06Н «Инспектор» (Радиометр-дозиметр МКС-06Н INSPECTOR. Паспорт. М.: ТОО «Грин Стар», 1996).

Очевидно, что для снижения уровня минимального обнаруживаемого сигнала при разработке устройств для обнаружения слабых источников ИИ стремятся увеличить габариты детекторов и тем самым повысить эффективность регистрации. Именно в этом заключается основное отличие устройства (Стационарный радиационный пороговый сигнализатор «Дозор». Информационный лист. М.: ВНИИФТРИ, 1997) от (Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997.; Дозиметр-радиометр ДРБП-03. Паспорт ГКПС 14.00.00.000 ПС. М.: ВНИИФТРИ, 1996.; Радиометр-дозиметр МКС-06Н INSPECTOR. Паспорт. М.: ТОО «Грин Стар», 1996). Однако для (Стационарный радиационный пороговый сигнализатор «Дозор». Информационный лист. М.: ВНИИФТРИ, 1997) не известен примененный авторами разработки способ обнаружения. В то же время косвенно, по приводимым в информационном листе цифрам можно с большой степе-

нюю достоверности утверждать, что и здесь применяется далеко не оптимальный способ обнаружения, что приводит к неоправданному завышению значения минимального обнаруживаемого сигнала в 1,5 – 2 раза.

Известна также высокочувствительная вертолетная поисковая система (Jobst J. E. A history of aerial surveys radiological incidents and accidents / J. E. Jobst. CONF-860932. 1987. P. 79–84), построенная на больших сцинтилляционных кристаллах NaI:Tl (диаметром 120 мм). Однако, как и в устройстве (Стационарный радиационный пороговый сигнализатор «Дозор». Информационный лист. М.: ВНИИФТРИ, 1997), в устройстве (Jobst J. E. A history of aerial surveys radiological incidents and accidents / J. E. Jobst. CONF-860932. 1987. P. 79–84) не содержится описания использованного способа обнаружения.

Известны способы обнаружения слабых потоков ИИ (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64), в которых используются некоторые основные положения и выводы из теории обнаружения (Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. Т. 1. М.: Сов. радио, 1972. 744 с.; Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.; Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов [и др.]. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.; Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. М.: Мир, 1975. 776 с). Однако в (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64) упомянутые положения используются недостаточно последовательно и точно, и потому также приводят к завышению порогов обнаружения.

Уместно подробнее описать применяемые для практических (инженерных) задач важнейшие положения и выводы из фундаментальной теории обнаружения, давно и основательно проработанной применительно к радиосвязи и радиолокации (Репин В. Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптации информационных систем / В. Г. Репин, Г. П. Артаковский. М.: Сов. радио, 1977. 432 с.; Шереметьев А. Г. Статистическая теория лазерной связи / А. Г. Шереметьев. М.: Связь, 1979.; Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. Т. 1. М.: Сов. радио, 1972. 744 с.; Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.; Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов [и др.]. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.; Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. М.: Мир, 1975. 776 с).

В соответствии с теорией обнаружения, в условиях полной априорной неопределенности (т. е. когда об обнаруживаемом объекте нет информации ни о наличии-отсутствии на нем источника ИИ, ни о величине сигнала от источника ИИ) в обнаружителе может (и должен) использоваться только критерий Неймана–Пирсона, являющийся наиболее мощным критерием. Последнее означает, что применение критерия Неймана–Пирсона позволяет получить наибольшую теоретически возможную вероятность обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги.

Вторым важнейшим положением теории обнаружения, которое должно использоваться при инженерной реализации теории, является необходимость вычисления отношения правдоподобия. Не вдаваясь в подробности теории, подчеркнем, что для практических целей удобнее использовать эквивалентное упомянутому отношению правдоподобия выражение для достаточной статистики (Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. М.: Мир, 1975. 776 с), которое в нашем конкретном случае обнаружения слабых потоков ИИ принимает вид

$$\eta = \frac{n-b}{\sqrt{\frac{n}{t_n} + \frac{b}{t_b}}}, \quad (1)$$

где все обозначения совпадают с введенными выше. По физическому смыслу величина η представляет собой нормализованное значение средней скорости счета сигнала от обнаруживаемого источника $a = n - b$, т. е. сигнал a представлен в таком виде, когда его дисперсия равна единице. Полученное значение η сравнивают с порогом Q_0 , значение которого зависит от заданной оператором вероятности ложной тревоги $P_{лт}$ и определяется из таблиц нормального закона распределения.

В способе обнаружения, описанном в (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64), применяется критерий Неймана–Пирсона, однако порог обнаружения вычисляется не с помощью достаточной статистики (1), а в виде

$$Q = b T_n + m \sigma, \quad (2)$$

где $\sigma = (N_b)^{1/2}$ – среднеквадратическое отклонение величины N_b . Очевидно, что описанный способ почти не отличается от (Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997), за исключением того, что значения T_b и T_n могут устанавливаться оператором любыми в зависимости от требуемой точности и ограничений на время измерения. Легко показать, что применение (2) приводит к полутора–двукратному завышению минимального обнаруживаемого сигнала по сравнению с теорией (т. е. по (1)), поскольку количество с. к. о. m в (2) устанавливается по интуиции (обычно $m > 4$), а не на основе строго задаваемых параметров обнаружения и теории обнаружения, приводящей для рассматриваемой задачи к (1).

Наиболее близким к заявляемому является способ обнаружения, используемый в системах (установках) «Янтарь» (Стационарная таможенная система обнаружения делящихся и радиоактивных материалов «Янтарь-1А». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ДКЦИ.425713.004 ТО. Дубна: НПЦ Аспект, 1997). Отметим, что НПЦ «Аспект», г. Дубна, выпускает порядка 6 различных видов установок семейства «Янтарь», которые различаются только количеством и размерами применяемых в них счетных детекторов гамма- и нейтронного излучения. Все разновидности систем используют одинаковый способ обнаружения, который сводится к следующей последовательности операций: перед началом контроля объектов (автомобилей и пешеходов) измеряется количество импульсов фоновое излучения N_b , причем время измерения фона T_b может быть любым в зависимости от «оперативной обстановки» (т. е. заданных ограничений на время контроля); автоматически (по сигналу «датчика присутствия») прибор переключается в режим оперативного контроля, т. е. измеряется количество импульсов излучения от контролируемого объекта N_0 в течение интервала контроля T_n , равного времени нахождения объекта в зоне контроля плюс дополнительные интервалы (так называемый «взгляд назад» длительностью порядка 1 с и «взгляд вперед» – тоже порядка 1 с); вычисляется порог

$$Q = b T_n + m \sigma,$$

где $\sigma = (N_b)^{1/2}$ – среднеквадратическое отклонение величины N_b ; m – число, равное количеству среднеквадратических отклонений (с. к. о.), задаваемое оператором и хранящееся в оперативной памяти; $b = N_b/T_b$ – средняя скорость счета фона; полученное N_0 сравнивается с порогом Q ; если $N_0 > Q$, то принимается решение об обнаружении (включается световой или звуковой сигнал «тревоги»); в противном случае принимается решение о необнаружении.

Недостаток описанного способа-прототипа, так же, как и аналогов, сводится к тому, что количество с. к. о. m назначается оператором жестко либо по указаниям (рекомендациям) из технического описания, либо интуитивно, и потому порог обнаружения

получается завышенным. Отметим, что в (Стационарная таможенная система обнаружения делящихся и радиоактивных материалов «Янтарь-1А». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ДКЦИ.425713.004 ТО. Дубна: НПЦ Аспект, 1997) рекомендуется устанавливать m в диапазоне от 4 до 8. При этом, безусловно, достигается низкая вероятность ложных тревог $P_{лт} < 10^{-4}$, но за счет существенного увеличения вероятности пропуска слабых сигналов.

Предлагаемым изобретением решается задача снижения минимального обнаруживаемого сигнала до уровня, близкого к теоретическому пределу. Для решения вышеуказанной задачи в заявляемом способе обнаружения слабых потоков ИИ последовательно используется оптимальный способ обнаружения, который базируется на теории обнаружения (Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. Т. 1. М.: Сов. радио, 1972. 744 с.; Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.; Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов [и др.]. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.; Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. М.: Мир, 1975. 776 с), основные полезные для практики выводы из которой кратко описаны выше, и который сводится к следующей последовательности операций: перед началом контроля объектов определяют порог Q_0 в соответствии с задаваемой оператором вероятностью ложных срабатываний по таблицам для нормального распределения; измеряют среднюю скорость счета b , обусловленного фоновым излучением, причем время измерения фона T_b может быть любым большим и определяется оперативной обстановкой либо вводится оператором; прибор переключают в режим оперативного контроля, т. е. измеряют количество импульсов излучения от контролируемого объекта N_0 в течение интервала контроля T_n , задаваемого оператором; вычисляют среднюю скорость счета аддитивной смеси сигнала и фона $n = N_0/T_n$; определяют значение параметра η по (1); полученное значение параметра η сравнивается с порогом Q_0 . Если $\eta > Q_0$, то принимают решение об обнаружении (включается световой или звуковой сигнал «тревоги»); в противном случае принимают решение о необнаружении, которое фиксируют в отчете по процедуре проведения контроля.

Примечания:

1. Главная суть предлагаемого способа и его отличие от прототипа сводится к тому, что в предлагаемом способе при вычислении параметра η по (1) учитывается полная дисперсия суммы сигнала и фона n , в том числе учитывается и абсолютное время контроля T_n , и потому нет необходимости порог искусственно завышать; порог назначается в строгом соответствии с задаваемой вероятностью ложных тревог $P_{лт}$. В итоге достигается максимальная вероятность обнаружения в заданных условиях проведения контроля.

2. Отличие порога Q_0 , используемого в предлагаемом способе обнаружения, от порога Q , применяемого в аналогах и прототипе, заключается в том, что Q_0 представляет собой квантиль нормального распределения (т. е. равен количеству с. к. о. для распределения с единичной дисперсией), а Q – количество дисперсий $\sigma = (N_b)^{1/2}$, т. е. порог Q в аналогах и прототипе выражен в абсолютных единицах (в единицах скорости счета 1/с).

В табл. 4 приводятся результаты сопоставительных расчетов минимального обнаруживаемого сигнала a_{\min} для предлагаемого способа и для прототипа. Значения рассчитаны для идентичных условий, т. е. и заявляемый способ, и прототип применены к обработке измерительной информации для одинаковой аппаратуры и при одинаковых условиях обнаружения. В качестве примера рассмотрен случай использования сцинтилляционного детектора на основе CsI:TI размерами 63×63 мм². Конкретные цифры по условиям и параметрам обнаружения приведены в примечаниях к табл. 4. Из приведенных расчетов следует, что в предлагаемом способе достигается более чем 1,5 – 2-кратное снижение уровня минимального обнаруживаемого сигнала a_{\min} по сравнению с прототипом. При этом обеспечивается достижение максимальной мощности критерия обнаружения, т. е. максимальная вероятность обнаружения при заданном уровне вероятности ложных

тревог $P_{\text{лт}}$. Приведенные расчеты подтверждены экспериментом. Эксперимент показал очень хорошее совпадение с расчетными значениями $a_{\text{мин}}$.

Предлагаемый способ обладает рядом дополнительных преимуществ по сравнению с прототипом и аналогами, главные из которых таковы: оператор вводит в программу обработки измерительной информации конкретное значение вероятности ложных тревог $P_{\text{лт}}$, т. е. важнейший параметр, характеризующий качество решения задачи обнаружения (а не количество с. к. о., связанное с параметрами обнаружения довольно сложной и существенно нелинейной зависимостью, как в аналогах и прототипе); в результате контроля оператор получает не только информацию об обнаружении или необнаружении, но и результирующее значение вероятности обнаружения $P_{\text{обн}}$. Последнее легко находится по таблицам нормального распределения и соответствует квантилю, равному $Q_{\beta} = \eta - Q_0$. Кратко по поводу дополнительных преимуществ можно подытожить, что при использовании предлагаемого способа оператор «работает» не с какими-то не всегда понятными константами, а с конкретными параметрами обнаружения ($P_{\text{лт}}$ и $P_{\text{обн}}$), которые ему необходимо достичь.

Расчеты значений минимального обнаруживаемого сигнала $a_{\text{мин}}$ для заявляемого способа и прототипа

Примечания:

1. Значения минимального обнаруживаемого сигнала $a_{\text{мин}}$ рассчитаны для идентичных условий, как по заявляемому способу, так и по прототипу: сцинтилляционный детектор на основе монокристалла CsI:Tl (диаметр 63 мм, высота 63 мм); вероятность ложных тревог для предлагаемого способа $P_{\text{лт}} = 0,05$, для прототипа $P_{\text{лт}} = 3 \cdot 10^{-5}$ (соответствует $Q_0 = 4,0$); вероятность обнаружения при вычислении $a_{\text{мин1}}$ равна $P_{\text{обн1}} = 0,95$, при вычислении $a_{\text{мин2}} - P_{\text{обн2}} = 0,50$.

2. Значение фона соответствует измеренному экспериментально для указанного в п. 2 сцинтилляционного детектора, снабженного свинцовым коллиматором, при установке энергетического диапазона 50 – 3000 кэВ.

Формула изобретения

Способ обнаружения слабых ионизирующих излучений от подвижных и неподвижных, открытых и закрытых бета-, гамма- и нейтронных источников с использованием ионизационных счетчиков или сцинтилляционных детекторов, заключающийся в измерении средней скорости счета фона b за время T_b и средней скорости счета аддитивной смеси сигнала и фона n , полученной за время T_n нахождения объекта контроля в поле зрения детектора, определении порога обнаружения объекта и принятии решения о результате обнаружения, отличающийся тем, что порог обнаружения объекта Q_0 определяют перед началом контроля в соответствии с задаваемой вероятной ложной тревоги, а по окончании контроля определяют параметр η и сравнивают его с порогом обнаружения Q_0 , причем решение об обнаружении объекта принимают при $\eta > Q_0$.

Таблица 1

$b, \text{с}^{-1}$	$T_b, \text{с}$	$T_n, \text{с}$	Заявляемый способ		Прототип	
			$a_{\text{мин1}}, \text{с}^{-1}$	$a_{\text{мин2}}, \text{с}^{-1}$	$a_{\text{мин1}}, \text{с}^{-1}$	$a_{\text{мин2}}, \text{с}^{-1}$
150	100	10	6,80	13,96	15,49	21,84
150	100	50	3,51	7,11	6,93	9,77
150	100	100	2,85	5,77	4,90	6,91
150	1000	300	1,33	2,68	2,83	3,99
150	1000	1000	0,90	1,81	1,55	2,18

Патент № 2142147 РФ Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. И. Коссе, Е. Г. Ситников. Заявл. 24.09.1997; опубл. 27.11.1999. Бюл. № 33.

Реферат

Предложен сцинтилляционный детектор гамма-излучения с фотодиодной регистрацией. Суть изобретения заключается в том, что наряду с сцинтилляционным кристаллом и кремниевым P/N-фотодиодом детектор дополнительно содержит сместитель спектра в виде тонкой сцинтиллирующей пленки или тонкого сцинтиллирующего кристалла, размещенного между сцинтиллятором и фотодиодом. Данный сцинтилляционный детектор обладает повышенной сцинтилляционной эффективностью регистрации гамма-излучения и повышенной нагрузочной способностью. Предложенный детектор может содержать кристалл $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ или другие сцинтилляционные кристаллы, чувствительные к нейтронам и бета-излучению, например стильбен.

Описание изобретения

Заявляемое устройство относится к детекторам ядерных бета-, гамма- и нейтронных излучений и может быть использовано для обнаружения нейтронов, обнаружения и идентификации радиоактивных веществ в системах индивидуальной дозиметрии и дозиметрии окружающей среды, в системах радиационного мониторинга местностей и морских акваторий, в системах таможенного радиационного контроля радиоактивных и делящихся материалов.

Известен сцинтилляционный детектор (Горн Л. С. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений / Л. С. Горн, Б. И. Хазанов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с) бета- и гамма- излучения, в котором в качестве фотоприемника используют фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), а в качестве сцинтиллятора используют кристалл CsI:Tl . Последний имеет плотность $4,51 \text{ г/см}^3$, световыход сцинтилляций до $0,45$ относительно такого для NaI:Tl , максимум свечения 565 нм , длительность сцинтимпульса 450 нс . Однако недостатком такого сцинтилляционного детектора являются большие габариты фотоприемника (ФЭУ), требуемое высоковольтное питание для ФЭУ, относительно невысокий световыход и большая длительность сцинтилляций.

Известен сцинтилляционный детектор (Пат. 3382368 США) бета- и гамма-излучения, включающий сцинтилляционный кристалл BaF_2 (плотность $4,88 \text{ г/см}^3$) и фотоэлектронный умножитель. Детектор имеет очень короткие сцинтилляции $< 50 \text{ нс}$. Однако максимум спектра свечения BaF_2 лежит в ультрафиолетовой области спектра, $\lambda = 220 \text{ нм}$, т. е. кристалл BaF_2 в режиме обычной фотодиодной регистрации совершенно неэффективен. Недостатком известного сцинтилляционного детектора на основе BaF_2 является также то, что используемый в нем в качестве фотоприемника ФЭУ имеет большие размеры и требует высоковольтного питания, что увеличивает как габариты, так и стоимость детектора в целом.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов (Горн Л. С. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений / Л. С. Горн, Б. И. Хазанов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с.; Пат. 3382368 США), включающий замедлитель из полиэтилена или полипропилена, сцинтиллятор $^6\text{LiI:Eu}$ и ФЭУ. Сцинтиллятор имеет плотность $4,06 \text{ г/см}^3$, сцинтилляционную эффективность $0,2\text{--}0,3$ относительно таковой для NaI:Tl и длину волны излучения 460 нм . Однако такой сцинтилляционный детектор имеет очень большую длительность сцинтилляции $\tau = 1,4 \text{ мкс}$ (Горн Л. С. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений / Л. С. Горн, Б. И. Хазанов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с), требует высоковольтного питания для ФЭУ и имеет большие габариты.

Известен сцинтилляционный детектор (Пат. 3398278 США) быстрых нейтронов, включающий замедлитель из полиэтилена, сцинтиллятор ZnS:Ag и ФЭУ. Сцинтиллятор

имеет световойход, в 2 раза (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с) превышающий световойход NaI:Tl и максимум спектра излучения при 450 нм. Однако такой детектор имеет большую длительность сцинтилляций ~ 1 мкс, не обеспечивает высокой загрузочной способности, имеет большие габариты.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов (Rodes N. J. The role of Inorganic Scintillators in neutron detector Technology. / N. J. Rodes, M. W. Jonson. Proceedings of the Int. Conf. on Inorganic Scintillators and Their applications. 1996, Delft, Netherlands. P. 73–80), включающий сцинтиллятор ZnS(Ag): ^6Li и ФЭУ. Однако такой детектор имеет большую длительность сцинтилляций, $\tau = 2$ мкс, и не обеспечивает повышенной загрузки, кроме того, он имеет большие габариты, связанные с большими размерами ФЭУ, и требует высоковольтного питания.

Известен сцинтилляционный детектор (Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029.; Тинг С. Установка ЛЗ, ЛЭП (ЦЕРН): препринт / С. Тинг. Л.: ЛИЯФ, 1987. 52 с), включающий сцинтилляционный кристалл $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и фотодиод, используемый в экспериментах в Европейском ядерном центре (ЦЕРН). Сцинтилляционный детектор имеет максимум свечения в области 540 нм, однако имеет световойход на уровне 0,1 относительно такового для NaI:Tl (Горн Л. С. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений / Л. С. Горн, Б. И. Хазанов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с) и большую длительность свечения, $\tau = 300$ нс, что не позволяет обеспечить высокую загрузочную способность.

Известен сцинтиллятор $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$ (Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029) с максимумом спектра излучения при 420 нм. Однако он не пригоден для работы непосредственно в сочетании с кремниевыми PIN-диодами из-за весьма низкой чувствительности последних в области длин волн менее 500 нм.

Из всех известных сцинтилляционных детекторов наиболее близким к заявляемому является сцинтилляционный детектор (Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SPD–2000. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992. 2 с) с фотодиодной регистрацией – фотодиодный детектор фирмы SCIONIX Holland, SPD–2000, пригодный для регистрации рентгеновского (> 60 кэВ) и гамма-излучения в промышленных и медицинских целях. Детектор имеет размеры: диаметр 40 мм, высота 50 или 70 мм. Он содержит кристалл CsI:Tl $10 \times 10 \times 10$ мм³ и кремниевый PIN-диод с достаточно высокой спектральной чувствительностью в области длин волн, превышающих 500 нм. Однако известный сцинтилляционный детектор с фотодиодной регистрацией обладает недостаточно высоким световыходом сцинтилляций, т. е. недостаточно высокой эффективностью регистрации рентгеновского и гамма-излучения, и длительностью сцинтигмпульса $\tau = 450$ нс, т. е. невысокой загрузочной способностью.

Предлагаемым изобретением решается задача повышения эффективности регистрации излучения и загрузочной способности сцинтилляционного детектора с фотодиодной регистрацией, не требующей высоковольтного питания. Заявляемое устройство, предлагаемое для решения вышеназванной задачи, включает сцинтилляционный кристалл, кремниевый PIN-фотодиод. Между сцинтилляционным кристаллом и PIN-фотодиодом располагают сместитель спектра в виде сцинтиллирующей пленки толщиной несколько десятков микрон или в виде тонкого сцинтиллирующего кристалла.

Сущность изобретения заключается в том, что сцинтилляционный кристалл обеспечивает первичную регистрацию излучения, например, гамма-квантов, которые вызывают в кристалле-сцинтилляторе световые вспышки. Для повышения эффективности регистрации излучения и загрузочной способности сцинтилляционного детектора в качестве сцинтиллятора используют кристалл $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$, у которого амплитуда сцинтилляций с максимумом спектра 420 нм и длительностью импульса 20 нс (в 200 раз более ко-

роткой, чем у CsI:Tl) в 8–11 раз превышает амплитуду сцинтилляций кристалла CsI:Tl. Для того чтобы сцинтилляции кристалла $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$ могли быть зарегистрированы кремниевым PIN-диодом, чувствительным к световым импульсам с длиной волны 500 – 1100 нм (максимум в области 800 – 900 нм (Hamamatsu Technical Data Sheet (10×10 мм² Sensitive area PIN Silicon photocells S1723, S1790 Series; Photodiode, Si, pIn. «РЕКОМ» LTD. Company Moscow. Реклама фирмы «Реком», М., 1994)), они должны быть преобразованы в более длинноволновые сцинтилляции. Такое преобразование выполняет сместитель спектра, не затягивающий при этом сцинтилляционный импульс. Наиболее подходящим материалом для сместителя спектра являются сцинтиллирующие органические материалы со спектром свечения в области более 520 нм и длительностью сцинтиимпульсов порядка наносекунд, в частности, органический борсодержащий состав $(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})_2\text{B}_{10}\text{H}_{12}$ (А. с. 1550925 СССР; А. с. 1351078 СССР) со спектром свечения с максимумом в области 520 – 54 нм и длительностью сцинтиимпульсов 0,62 нс.

Предлагаемый сцинтилляционный детектор с фотодиодной регистрацией имеет ряд дополнительных преимуществ.

1. Использование соответствующих сместителей спектра, преобразующих коротковолновое излучение ($\lambda_1 = 200 - 400$ нм) в длинноволновое ($\lambda_2 = 500 - 1100$ нм), снимает ограничения на выбор сцинтиллятора, т. е. может использоваться сцинтиллятор с ультрафиолетовым и синим спектром свечения, чувствительный как к гамма-, так и к бета-излучениям.

2. На базе предлагаемого устройства может быть создан сцинтиллирующий детектор быстрых нейтронов, если в качестве сцинтиллятора взять стильбен, после преобразования с помощью сместителя спектра синего свечения стильбена в желтое или красное, последнее будет зарегистрировано кремниевым PIN-диодом.

3. При регистрации гамма-излучения предлагаемый сцинтилляционный детектор может работать как в счетном, так и в спектрометрическом режимах.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор, включающий сцинтиллятор и кремниевый PIN-фотодиод, отличающийся тем, что он дополнительно содержит сместитель спектра в виде тонкой сцинтиллирующей пленки или тонкого сцинтиллирующего кристалла, размещенного между сцинтиллятором и кремниевым PIN-фотодиодом.

Патент № 2143711 РФ. Детектор для регистрации ионизирующих излучений / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, В. С. Андреев, О. В. Игнатъев, В. Л. Петров, Ю. Г. Лазарев, Д. Б. Шульгин. Заявл. 06.04.1999; опубл. 27.12.1999. Бюл. № 36.

Реферат

Изобретение относится к области дозиметрии быстрых и тепловых нейтронов и гамма-излучения и предназначено для использования в комплексах и системах радиационного контроля. Сущность изобретения заключается в том, что детектор выполнен в виде трех параллельно-последовательно соединенных сцинтилляторов: внешнего нейтронного сцинтиллятора, выполненного из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородсодержащего вещества на основе пластмассы $(CH)_n$ или стилибена (сцинтиллятор с колодцем), размещенного в колодце внешнего сцинтиллятора сцинтилляционного кристалла $NaI:Tl$ в стандартном контейнере, чувствительного к гамма-излучению, и внутреннего сцинтиллятора на основе 6Li -силикатного стекла, активированного церием, чувствительного к тепловым нейтронам, и фотоэлектронного умножителя, помещенных в единый корпус, а блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от нейтроно-чувствительных и гамма-чувствительного сцинтилляторов, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла $NaI:Tl$. Технический результат: устройство обеспечивает счет нейтронов и спектрометрический анализ гамма-квантов. Существует возможность раздельной регистрации быстрых и тепловых нейтронов.

Описание изобретения

Устройство относится к области дозиметрии быстрых и тепловых нейтронов и гамма-излучения: особо к области дозиметрии тепловых нейтронов, оно пригодно для использования в комплексах и системах радиационного контроля, предназначенных для обнаружения делящихся материалов (урана, плутония, калифорния и изделий из них), для радиационного обследования ядерных субмарин, подлежащих разборке, для решения задач Госатомнадзора, таможенного контроля, для служб дозиметрической и ядерной безопасности предприятий по переработке ядерного горючего.

Известные детекторы ядерных излучений содержат, как правило, датчик и блок электронной обработки сигналов (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Пат. 3688118 США; Заявка 0311503 ЕВП (ЕР); Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с.; Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990.; Пат. 42412536 США; Пат. 4482808 США).

Известен детектор нейтронов сцинтилляционного типа с датчиком на базе кристаллов ${}^6Li:Eu$, содержащий изотоп 6Li (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с). Однако такой детектор является гигроскопичным и имеет весьма большую длительность сцинтилляций (1400 нс), что не позволяет обеспечить высокую загрузочную способность детектора, а главное, такой детектор обладает низкой чувствительностью (эффективностью) при регистрации нейтронов на гамма-фоне, поскольку, наряду с нейтронами, детектор одновременно регистрирует и гамма-кванты, сигналы от которых трудно разделить, поскольку имеют одинаковые спектральные и временные параметры. Кроме того, известный детектор не пригоден для спектрометрии гамма-излучения.

Известный селективный детектор нейтронов по Пат. 3688118 США содержит два датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, в то время как другой чувствителен только к заряженным частицам; число регистрируемых нейтронов определяется разностью сигналом с этих датчиков, выделяемым с помощью

разностной схемы электронного блока. Однако возможность применения такого детектора для регистрации гамма-излучения в патенте не оговорена, и, кроме того, для датчика, чувствительного одновременно к заряженным частицам и нейтронам, эффективность регистрации не может быть высокой.

Известный детектор (Заявка 0311503 ЕВП (ЕР)) нескольких излучений включает два сцинтилляционных датчика с зеленым и красным свечением, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой – к низкоэнергетическому, и электронный оптический блок регистрации, выделяющий сигналы от датчиков с помощью светофильтров (зеленого и красного) и регистрирующий их с помощью фотодиодов. Такой детектор имеет ограниченные области применения, по данным он пригоден для регистрации рентгеновского излучения с двумя различными энергиями, однако он не пригоден для регистрации нейтронов и одновременно спектрометрии гамма-излучения.

Известен всеволновой детектор нейтронов (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с), датчик которого состоит из ^3He счетчиков, чувствительных к тепловым нейтронам, однако такой детектор не пригоден для одновременной регистрации нейтронов и гамма-излучения, не пригоден для спектрометрии гамма-излучения.

Известен детектор (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990), датчик которого представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации гамма-излучения и быстрых нейтронов. Детектор имеет длительность сцинтилляции, создаваемого нейтроном или гамма-квантом, – 8,5 нс; световой выход (УЕСВ по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ, – 0,29; максимум спектра люминесценции 490 нм, диаметр и высота до 50 мм. Однако такой детектор не пригоден для спектрометрии гамма-излучения.

Известен детектор надтепловых нейтронов (Пат. 42412536 США), который содержит датчик тепловых нейтронов, защиту от тепловых нейтронов, окружающую этот датчик; замедлитель надтепловых нейтронов, которые проникают через защиту, с тем чтобы эти нейтроны легче поглощались счетчиком. Толщина замедлителя и отношение диаметра счетчика к внешнему диаметру замедлителя таковы, что максимальная скорость счета, которую можно получить, когда счетчик полностью заполняет внутренний диаметр защиты от тепловых нейтронов. Однако известный детектор не позволяет регистрировать гамма-излучение и соответственно не позволяет обеспечить спектрометрию гамма-излучения.

Известен детектор (Пат. 4482808 США), аналогичный детектору (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990), для регистрации ионизирующего излучения по патенту США. Детектор содержит датчик, в частности сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако любой однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации нейтронов и гамма-лучей, поскольку не обладает достаточно высокой чувствительностью, избирательностью и необходимыми функциональными возможностями. Известный детектор (Пат. 4482808 США) не пригоден для спектрометрии гамма-излучения.

Из всех известных детекторов для регистрации ионизирующих излучений наиболее близким к заявляемому является детектор, описанный в Пат. 2088952 РФ. Известный детектор содержит датчик и блок электронной обработки сигналов; датчик выполнен в виде последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Vi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также альфа-, бета-, гамма-излучениям, и светодиода, выполненного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стиль-

бена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, фотоэлектронного умножителя преобразующего сцинтилляции в электрические сигналы, а блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него от $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов световода. Однако известный детектор, будучи чувствительным к быстрым нейтронам, не пригоден для регистрации тепловых. Кроме того, устройство, в котором используются в качестве альфа-, бета-, гамма-сцинтиллятора ортогерманат висмута $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, не может обеспечить спектрометрический режим с высоким энергетическим разрешением, поскольку энергетическое разрешение этих кристаллов обычно составляет 15 – 20 %, тогда как у кристаллов NaI:Tl оно в 2 – 3 раза лучше и составляет 6 – 8 %.

Предлагаемое устройство обеспечивает регистрацию как быстрых, так и тепловых нейтронов в счетном режиме, а также регистрацию гамма-излучения в спектрометрическом режиме с высоким энергетическим разрешением. Блок-схема заявляемого устройства приведена на фиг. 1. Заявляемое устройство содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. Датчик выполнен в виде трех параллельно-последовательно соединенных сцинтилляторов: внешнего нейтронного сцинтиллятора 1, выполненного из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородсодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стилибена (сцинтиллятор с колодцем), размещенного в нем (в колодце внешнего сцинтиллятора) сцинтилляционного кристалла NaI:Tl 2 в стандартном контейнере, чувствительного к гамма-излучению, и внутреннего сцинтиллятора на основе ^6Li -силикатного стекла 3, активированного церием, чувствительного к тепловым нейтронам, и фотоэлектронного умножителя, помещенных в единый корпус 5, а блок электронной обработки сигналов 6 включает схему временной селекции сцинтимпульсов от нейтроно-чувствительных сцинтилляторов (1 и 3) и от гамма-чувствительного сцинтиллятора (2), а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl .

Сущность изобретения заключается в том, что внешний нейтронный сцинтиллятор, (выполненный из водородсодержащего вещества, избирательно чувствительного к быстрым нейтронам и регистрирующего их по создаваемым ими световым вспышкам) одновременно является замедлителем быстрых нейтронов, причем толщина внешнего сцинтиллятора 1 выбирается такой, чтобы нейтроны замедлялись до тепловых энергий. Тепловые же нейтроны регистрируются внутренним стеклянным сцинтиллятором 3, содержащим изотоп ^6Li . Регистрируются за счет ядерной реакции $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$: возникающая в результате этой реакции альфа-частица вызывает внутри сцинтиллятора световые вспышки. Внутренний нейтронный сцинтиллятор 3 изготовлен из материала (стекла), прозрачного для световых вспышек, поступающих на фотоэлектронный умножитель от внешнего нейтронного сцинтиллятора и от размещенного в колодце кристалла NaI:Tl . Для этих вспышек он играет роль световода. Кристалл NaI:Tl («утробный» сцинтиллятор) служит для регистрации гамма-квантов.

Устройство работает в полях нейтронного и сопутствующего ему и требующего учета и спектрометрического анализа гамма-излучения следующим образом. Под действием быстрых нейтронов, попадающих в объем внешнего сцинтиллятора (из стилибена или прозрачной пластмассы $(\text{CH})_n$), в нем возникают световые вспышки с длиной волны излучения 400 – 420 нм с длительностью до 2 – 3 нс. Эти световые вспышки, создаваемые быстрыми нейтронами, поступают через оптические контакты и внутренний стеклянный сцинтиллятор, играющий в данном случае роль световода (с минимальными оптическими потерями), на фотокатод ФЭУ, создавая на выходе его электрические импульсы длительностью 2 – 3 нс. Быстрые нейтроны, проходя через внешний нейтронный сцинтиллятор и неся радиационные потери в виде световых вспышек (благодаря чему они и регистрируются), теряют свою энергию в основном не за счет этих световых вспышек, а за счет столкновения с ядрами водорода, входящего в состав сцинтилляци-

онного материала, и замедляются. Толщина замедлителя выбирается такой, чтобы быстрые нейтроны перед попаданием во внутренний стеклянный сцинтиллятор были замедлены до тепловых энергий. Тепловые нейтроны поступают во внутренний сцинтиллятор, содержащий радионуклид ${}^6\text{Li}$ в концентрации до 10^{21} см^{-3} , достаточной для обеспечения высокой эффективности их регистрации в результате ядерной реакции ${}^6\text{Li} + n \rightarrow ({}^4\text{He}) + {}^3\text{H}$, протекающей на ядрах ${}^6\text{Li}$ и имеющей сечение более 900 барн. Для сравнения укажем, что обычно применяемые для регистрации тепловых нейтронов газоразрядные ${}^3\text{He}$ -счетчики (реакция (n, p) с сечением приблизительно 4000 барн) обладают меньшей общей эффективностью регистрации нейтронов, нежели ${}^6\text{Li}$ -стекла из-за низкой плотности ядер ${}^3\text{He}$ в газовом объеме счетчика. Альфа-частицы реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ вызывают во внутреннем силикатном стекле световые вспышки с длиной волны излучения 395 – 400 нм и длительностью 60 нс. Эти световые вспышки поступают через оптический контакт на фотокатод ФЭУ, создавая на его выходе электрические импульсы длительностью 60 нс. Толщину внутреннего стеклянного сцинтиллятора выбирают небольшой: 0,8–1 мм, чтобы снизить возможное появление во внутреннем стеклянном сцинтилляторе шумовых гамма-сцинтилляций. Возможное их появление не снижает, однако, отношения сигнал/шум, создаваемого внутренним сцинтиллятором, поскольку эти шумовые гамма-кванты легко дискриминируются электронным блоком обработки информации.

Гамма-кванты, испускаемые источником излучения, подлежащим обнаружению и идентификации, легко проникают через водородсодержащий материал внешнего сцинтиллятора и регистрируются с помощью входящего в состав датчика тяжелого кристалла NaI:Tl , размещенного в колодце внешнего сцинтиллятора. Гамма-кванты вызывают в кристалле NaI:Tl световые вспышки ($\lambda = 410 \text{ нм}$, $\tau = 250 \text{ нс}$). Эти световые вспышки поступают через оптические контакты и внутренний стеклянный сцинтиллятор, играющий для гамма-сцинтилляций роль световода, на ФЭУ, создавая на выходе его электрические импульсы длительностью 250 нс.

Таким образом, когда нейтронное и гамма-излучение взаимодействует со сцинтилляторами, на блок электронной обработки информации с ФЭУ будут поступать три группы сигналов, различающихся по длительности. Одна группа сигналов, связанная с быстрыми нейтронами, будет иметь малую длительность не выше 3 – 5 нс, вторая группа сигналов, связанная с регистрацией тепловых нейтронов, будет иметь длительность $\sim 60 \text{ нс}$ и, наконец, третья группа сигналов, обусловленная гамма-квантами, имеет длительность $\sim 250 \text{ нс}$. Эти группы сигналов разделяются схемой временной селекции. Выделенная группа сигналов с длительностью $\sim 250 \text{ нс}$ поступает на спектрометрический блок-анализатор, позволяющий определить спектр энергий регистрируемого гамма-излучения, слабые дополнительные сигналы от гамма-квантов, возникающие во внешнем водородсодержащем сцинтилляторе с длительностью сцинтилпульсов 3 нс, легко дискриминируются. Таким образом, устройство обеспечивает счет нейтронов и спектрометрический анализ гамма-квантов.

Дополнительным преимуществом предлагаемого устройства является возможность как раздельной регистрации быстрых и тепловых нейтронов, так и определения их суммарного количества от подлежащих обнаружению источников нейтронов сложного спектрального состава, в том числе соответствующего спектру деления делящихся материалов.

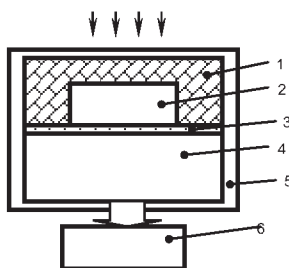
Формула изобретения

1. Детектор для регистрации ионизирующих излучений, нейтронов и гамма-квантов, содержащий датчик и блок электронной обработки информации, включающий схему временной селекции сцинтилпульсов, отличающийся тем, что для регистрации быстрых и медленных нейтронов на фоне одновременно регистрируемого сопутствующего

щего гамма-излучения датчик выполнен в виде трех параллельно-последовательно соединенных сцинтилляторов: внешнего нейтронного сцинтиллятора, выполненного из чувствительного к быстрым нейтронам водородсодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стиблена; сцинтиллятора NaI:Tl , чувствительного к гамма-излучению, размещенного в колодце внешнего сцинтиллятора; внутреннего стеклянного сцинтиллятора, чувствительного к тепловым нейтронам, и фотоэлектронного умножителя, помещенных в единый корпус, а блок электронной обработки сигналов дополнительно включает спектрометрический анализатор сцинтимпульсов, поступающих в него от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl .

2. Детектор по п. 1, отличающийся тем, что толщина внешнего сцинтиллятора из водородсодержащего материала выбирается достаточной для того, чтобы проходящие через сцинтиллятор быстрые нейтроны замедлялись до тепловых энергий.

3. Детектор по п. 1, отличающийся тем, что в качестве внутреннего сцинтиллятора, чувствительного к тепловым нейтронам, используют литийсиликатное стекло, активированное церием, содержащее изотоп ${}^6\text{Li}$ в количестве до 10^{22} см^{-3} , достаточном для эффективной регистрации тепловых нейтронов.



Фиг. 1.

Патент № 2148837 РФ. Неорганический сцинтиллятор / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, М. М. Кидибаев, К. Шаршеев, М. К. Сатыбалдиева. Заявл. 19.04.1999; опубл. 10.05.2000. Бюл. № 13.

Реферат

Использование: регистрация альфа- и нейтронного излучения. Сущность: применение кристаллов $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ в качестве неорганического сцинтиллятора. Технический результат: обеспечение выполнения метрологических требований для индивидуальной дозиметрии, высокая химическая стойкость (негигроскопичность), избирательность к альфа-излучению и нейтронному излучению на фоне гамма-излучения.

Описание изобретения

Изобретение относится к области регистрации альфа- и нейтронного излучений и пригодно для использования в комплексах и системах радиоэкологического мониторинга для установления зон радиационного загрязнения, а также для целей персональной дозиметрии.

Известен неорганический сцинтиллятор на основе кристаллов LiI:Eu (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с), пригодный для регистрации нейтронов. Однако этот известный сцинтиллятор с максимумом спектра свечения 480 нм обладает низкой химической стойкостью, – он гигроскопичен. Кроме того, он обладает большой длительностью сцинтилляционной вспышки 1400 нс, вследствие чего он не пригоден для использования в сцинтилляционных трактах с повышенной нагрузочной способностью. Известный сцинтиллятор LiI:Eu имеет высокий эффективный атомный номер, $Z_{\text{эф}} = 52$, намного превышающий таковой номер для костной биологической ткани ($Z_{\text{эф}} = 12$), что не позволяет, строго говоря, использовать его для персональной дозиметрии, из-за «хода с жесткостью».

Известен неорганический сцинтиллятор на основе кристаллов CsI:Tl (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с). Однако сцинтиллятор на основе кристаллов CsI:Tl с максимумом свечения 565 нм, будучи достаточно химически устойчивым (негигроскопичен), не пригоден для регистрации нейтронов. Кроме того, при регистрации альфа-излучения он имеет весьма большую длительность сцинтилляционной вспышки от 450 до 1000 нс, что не позволяет его использовать в сцинтилляционных трактах с повышенной нагрузочной способностью. Из-за высокого $Z_{\text{эф}} = 54$ этот сцинтиллятор не пригоден для индивидуальной дозиметрии.

Известен неорганический сцинтиллятор на основе кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029). Однако сцинтиллятор на основе кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, с максимумом свечения при 480 – 510 нм, обладая повышенной химической и термической стойкостью и будучи чувствительным к альфа-излучению, не чувствителен к нейтронам. Кроме того, он обладает большой длительностью сцинтилляций, 300 нс, а его эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}} = 74$, сильно отличается от эффективного атомного номера биологической ткани и поэтому он не пригоден для персональной дозиметрии.

Известен неорганический сцинтиллятор на основе кристаллов NaI:Tl (Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029), обладающий самым высоким световыходом сцинтилляций с максимумом спектра свечения при 410 нм, но большой длительностью световых всплесков 250 нс. Однако данный сцинтиллятор непригоден для регистрации нейтронов. Кроме того, сцинтиллятор NaI:Tl имеет высокий $Z_{\text{эф}} = 50$, что не позво-

ляет использовать данный кристалл для индивидуальной сцинтилляционной дозиметрии. Дополнительным недостатком известного сцинтиллятора NaI:TI является его гигроскопичность, что усложняет условия его технической эксплуатации.

Известен состав $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ (Alybakov A. A. Optical absorption and EPR Spectra of Cu^{2+} ions in LiKSO_4 single Crystals / A. A. Alybakov, V. A. Gubahova, K. SharSheev // Phys. stat. sol. 1988. Vol. 146. P. K135–K139.; Breczewski T. Anomalous changes in the pyroelectric and dielectric properties of LiKSO_4 crystals / T. Breczewski, T. Krajevski, B. Mroz // Ferroelectrics. 1981. Vol. 33. P. 9–12). Известно использование этого состава в качестве пиро- или сегнетоэлектриков, а также в качестве датчика электронного парамагнитного резонанса, т. е. ЭПР-датчика. Состав LiKSO_4 кристаллизуется в гексагональной сингонии, пространственная группа C_{6h}^{2+} - Pb_3 , постоянная решетки равна $a = 5,13 \text{ \AA}$, $c = 6,82 \text{ \AA}$. Кристаллы LiKSO_4 обладают аномальными пьезоэлектрическими и диэлектрическими свойствами, связанными с фазовым переходом при температуре 196 К. Однако применение кристаллов $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ в качестве неорганического сцинтиллятора для регистрации альфа-излучения и нейтронов неизвестно и в литературе не описано. Сущность изобретения заключается в применении состава $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ в качестве сцинтиллятора для регистрации альфа-излучения и нейтронов. Поскольку какие-либо данные по сцинтилляционным свойствам $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ в литературе отсутствуют, предложенный неорганический сцинтиллятор соответствует критерию существенные отличия и критерию новизны.

Кристаллы $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ были выращены при температуре 40°C из водного раствора LiSO_4 , KSO_4 и H_2O в соотношении 1:1:1 при добавлении в исходный раствор сульфата меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в количестве, соответствующем изоморфной емкости кристалла LiKSO_4 , т. е. в количестве 8–10 г/л. Для выращенных кристаллов характерна слабая бледно-голубая окраска. Кристаллы имели форму бипирамиды. Для применения в сцинтиблоке (в сочетании с фотоэлектронным умножителем) из кристалла вырезали пластинки толщиной 5 мм и диаметром 10^{-15} мм.

Применение известных кристаллов LiKSO_4 в качестве неорганических сцинтилляторов стало возможным благодаря обнаруженному для них авторами сцинтилляционному эффекту с повышенным быстродействием и близости эффективного атомного номера $Z_{\text{эф}} = 14,5$ этих кристаллов к эффективному атомному номеру биологической костной ткани $Z_{\text{эф}} = 12$. Последнее снимает проблему «хода с жесткостью» и обеспечивает выполнение метрологических требований для индивидуальной дозиметрии.

Предлагаемый сцинтиллятор обладает ярко-голубым свечением, максимум сцинтилляционной вспышки расположен при 435 – 445 нм (вся полоса свечения расположена в области 370 – 510 нм, полуширина полосы ~ 75 нм). Длительность сцинтилляционной вспышки ~ 90 нс. Световыход сцинтилляций $S_{\text{отн}}$ для кристаллов $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ составляет 30 % относительно световыхода кристаллов LiI:Eu , однако предложенный сцинтиллятор обладает в 15 раз меньшей длительностью сцинтилляций и обеспечивает соответственно в 10^{-15} раз более высокую загрузочную способность. Сцинтиллятор на основе $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ обладает более высокой химической стойкостью (негигроскопичен) по сравнению с LiI:Eu .

Предлагаемый сцинтиллятор регистрирует, как и кристалл LiI:Eu , тепловые нейтроны в соответствии с реакцией ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$, т. е. тепловые нейтроны поглощаются ядрами изотопа ${}^6\text{Li}$ (до 7 % в естественной смеси изотопов или обогащенные по ${}^6\text{Li}$ составы до 10^{21} – 10^{22} см^{-3}) с последующим альфа-распадом и образованием ядер трития ${}^3\text{H}$. Световыход сцинтилляций $S_{\text{отн}}$ для кристаллов $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ составляет ~ 10^{-12} % относительно световыхода кристаллов CsI:TI , однако предложенный сцинтиллятор обладает в 11 раз более короткой длительностью сцинтилляций, нежели кристалл CsI:TI .

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтиллятора является его определенная избирательность к альфа-излучению и нейтронному излучению на фоне гамма-излучения. Эта избирательность обусловлена низким эффективным атомным номером кристаллов $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$, что, особенно при малых толщинах кристаллов делает их слабо чувствительными к гамма-излучению. Низкий $Z_{\text{эф}}$ кристаллов LiKSO_4 обеспечивает меньшую энергетическую зависимость чувствительности изготавливаемых на их основе детекторов.

Формула изобретения

Применение кристаллов $\text{LiKSO}_4:\text{Cu}^{2+}$ в качестве неорганического сцинтиллятора.

Реферат

Световод используют для обнаружения и измерения ионизирующего излучения (рентгеновского, гамма, альфа и электронного). Состав сцинтилляционного световода – твердые растворы на основе галогенидов серебра, мас. %: AgCl 17,980 – 27,000; AgBr 82,000 – 72,499; AgI 0,010 – 0,500, которые активированы добавками либо таллия, либо хрома, либо европия, либо церия в количестве 0,01 – 0,001 мас. %. Световоды получают длиной до 50 м и более. Они негигроскопичны, высоко пластичны, нетоксичны, имеют высокую плотность 6,4 г/см³ и эффективный атомный номер $Z_{эф} = 42,7\text{--}42,8$; обладают малым временем высвечивания – 20 нс и имеют удобный для регистрации спектр свечения с максимумом при 400 нм. Рабочий температурный диапазон от –60 до +200°С.

Описание изобретения

Изобретение относится к сцинтилляционным материалам, к световодам на основе кристаллических неорганических сцинтилляторов, в которых под действием ионизирующих излучений возникают сцинтилляции. Для обнаружения и измерения ионизирующего излучения, особенно в недоступных местах, необходимы длинные, пластичные, нетоксичные и негигроскопичные сцинтилляционные световоды, основными свойствами которых является широкий диапазон прозрачности световода, небольшое время высвечивания, высокая плотность, эффективный атомный номер ($Z_{эф}$), оптимальная длина волны, которая соответствует максимуму спектра люминесценции, а также широкий рабочий температурный диапазон.

Известны световоды (нити) небольшой длины (~100 мм) из пластикового сцинтиллятора (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с). Они имеют низкую температуру плавления, поэтому интервал рабочей температуры у них ограничен; невысокую плотность от 1,16 до 1,25 и малую величину $Z_{эф}$. Кроме того, область прозрачности у кристаллических органических сцинтилляторов довольно узкая, и они не прочны.

Известны также сцинтилляционные волокна из кристаллического неорганического сцинтиллятора типа CsI (Исследование физических свойств монокристаллов галогенидов цезия и волокон, полученных на их основе / И. П. Антонив [и др.] // Всесоюзной конференции «Волоконная оптика»: сб. тезисов докладов. М., 1990. С. 333.; Кацуяма Т. Инфракрасные волоконные световоды / Т. Кацуяма, Х. Мацamura. М., 1992. С. 175, 187). Авторы отмечают, что прочность экструдированных волокон низка (~1 МПа), что связано с наличием границ блоков (Исследование физических свойств монокристаллов галогенидов цезия и волокон, полученных на их основе / И. П. Антонив [и др.] // Всесоюзной конференции «Волоконная оптика»: сб. тезисов докладов. М., 1990. С. 333). При экструзии щелочно-галогидных кристаллов наблюдается высокий коэффициент трения о стенки фильеры, поэтому изготовить из них световоды трудно (Кацуяма Т. Инфракрасные волоконные световоды / Т. Кацуяма, Х. Мацamura. М., 1992. С. 175, 187). Однако высокая температура плавления CsI дает возможность получения стабильной кристаллической структуры путем выращивания световодов из расплава. Недостатком таких световодов, кроме высокой гигроскопичности и низкой прочности, является их малая длина.

Наиболее близким техническим решением является световод из йодида натрия (Пат. 4586785 США), который является сцинтилляционным материалом, и предназначен для отделения и экранирования сцинтиллятора от радиоактивного излучения фотоэлемента. К недостаткам такого световода, как и для световода из йодида цезия (Исследо-

вание физических свойств монокристаллов галогенидов цезия и волокон, полученных на их основе / И. П. Антонив [и др.] // Всесоюзной конференции «Волоконная оптика»: сб. тезисов докладов. М., 1990. С. 333.; Кацуяма Т. Инфракрасные волоконные световоды / Т. Кацуяма, Х. Мацамура. М., 1992. С. 175, 187), относится высокая гигроскопичность, низкая прочность и малая длина световодов (несколько миллиметров).

Целью изобретения является получение длинных (несколько метров), пластичных, негигроскопичных и нетоксичных сцинтилляционных световодов с малым временем высвечивания, удобным для регистрации спектром свечения, высокой плотностью и эффективным атомным номером. Поставленная цель достигается за счет того, что в известном сцинтилляционном световоде, включающем галогенид металла, согласно изобретению, в качестве галогенида металла используют галогениды серебра и активированные добавки (таллий, хром, европий, церий) при следующем отношении ингредиентов, мас. %: хлорид серебра – 17,980 – 27,000; бромид серебра – 82,000 – 72,499; йодид серебра – 0,010 – 0,500 и активирующая добавка – 0,010 – 0,001.

Сущность изобретения состоит в том, что сцинтилляционные световоды получают длинные (до 50 м). Они негигроскопичны; высоко пластичны; нетоксичны; имеют высокую плотность $6,4 \text{ г/см}^3$ и эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}} = 42,7\text{--}42,8$; обладают малым временем высвечивания – 20 нс и имеют удобный для регистрации спектр свечения с максимумом при 400 нм. Поэтому обычные сурьмяно-цезиевые фотоприемники идеально подходят для работы в сочетании с ними. Эти световоды прозрачны в широкой области спектра и имеют рабочий температурный диапазон от -60°C до $+200^\circ\text{C}$, т. к. их состав – твердые растворы на основе галогенидов серебра, мас. %: AgCl – 17,98–27,000; AgBr – 82,000 – 72,499; AgI – 0,010 – 0,500, которые активируют добавками – 0,01 – 0,001 мас. %. В качестве активированных добавок применяют либо таллий, либо хром, либо европий, либо церий. При увеличении содержания активирующей добавки более 0,01 мас. % световоды быстро «стареют» – разрушаются по границам зерен. При уменьшении в световодах активирующей добавки менее 0,001 мас. % сцинтилляционные свойства проявляются слабо.

Пример 1. Сцинтилляционный световод длиной 10 м получают методом экструзии из кристаллической заготовки состава твердого раствора в мас. %: AgCl – 17,98; AgBr – 82,00; AgI – 0,01, активированного таллием, либо хромом, либо европием, либо церием в количестве 0,01 мас. %. Световоды негигроскопичны – растворимость в воде $0,178 \cdot 10^{-3} \text{ г/дм}^3$; высоко пластичны – минимальный радиус упругого изгиба 5,0 см; прочность на разрыв 200 МПа; время высвечивания менее 20 нс; плотность $6,4 \text{ г/см}^3$; $Z_{\text{эф}} = 42,7$; максимум спектра люминесценции при $\lambda_{\text{макс}} = 400 \text{ нм}$. Исследования свойств световодов проводятся в УГТУ–УПИ, аккредитованная лаборатория «Сертификация», средства измерений проверены, методики анализа аттестованы. Сцинтилляционный световод, выбранный в качестве прототипа, гигроскопичен, хрупкий, имеет небольшую длину (1 – 5 мм), время высвечивания 210 нс, плотность $3,67 \text{ г/см}^3$ и $Z_{\text{эф}} = 50$ (Физический энциклопедический словарь. Т. 5. М.: Советская энциклопедия, 1966. С. 109).

Пример 2. Сцинтилляционный световод получают методом экструзии из кристаллической заготовки твердого раствора состава, мас. %: AgCl – 22,0; AgBr – 77,980; AgI – 0,015, который активирован добавкой в количестве 0,005 мас. %. В качестве добавки может быть таллий, либо хром, либо европий, либо церий. Длина световода 50 м (в прототипе 1 – 5 мм), радиус упругого изгиба 4,5 см, прочность на разрыв 200 МПа (против $\sim 1 \text{ МПа}$ в прототипе), время высвечивания – менее 20 нс (в прототипе 210 нс), плотность $6,4 \text{ г/см}^3$ ($3,67 \text{ г/см}^3$ – прототип), спектр люминесценции 400 нм (415 нм – прототип), растворимость в воде $0,178 \cdot 10^{-3} \text{ г/дм}^3$ при 25°C (в прототипе 645 г/дм^3). Световоды нетоксичны и негигроскопичны (очень гигроскопичны в прототипе).

Пример 3. Сцинтилляционный световод получают методом экструзии из кристаллической заготовки твердого раствора состава, мас. %: AgCl – 27,0; AgBr – 72,499; AgI – 0,50, который активирован добавкой таллия, либо хрома, либо европия, либо церия в количестве 0,001 мас. %. Длина световода 50 м (1 – 5 мм в прототипе); он негигроскопичен (прототип очень гигроскопичен); не растворим в воде – $0,178 \cdot 10^{-3}$ г/дм³ (прототип сильно растворим – 645 г/дм³); высокопластичен, радиус упругого изгиба 4,0 см и прочность на разрыв 250 МПа (против ~ 1 МПа для прототипа); плотность 6,4 г/см³ (3,67 г/см³ – прототип). Время высвечивания менее 20 нс (210 нс в прототипе); $Z_{эф} = 42,8$ (50,0 – прототип); максимум спектра люминесценции 400 нм (в прототипе – 415 нм).

Пример 4. Сцинтилляционный световод получают методом экструзии из кристаллической заготовки твердого раствора состава, мас. %: AgCl – 24,94; AgBr – 75,00; AgI – 0,010, который активирован добавкой таллия, либо хрома, либо европия, либо церия в количестве 0,05 мас. %. Получен световод длиной 3 м, который после изгиба до радиуса в 20 см темнеет на воздухе, т. е. быстро «стареет».

Пример 5. Сцинтилляционный световод получают методом экструзии из кристаллической заготовки твердого раствора состава, мас. %: AgCl – 24,95; AgBr – 75,00; AgI – 0,0495; активированная добавка (галлий, хром, европий, церий) в количестве 0,0005 мас. %. Длина световода 10 м, радиус упругого изгиба 5 см, прочность на разрыв 200 МПа, плотность и растворимость как в примере 1, но световоды не обладают сцинтилляционными свойствами. Таким образом, предлагаемые световоды являются негигроскопичными, т. е. практически не растворимы (в прототипе – очень растворимы и гигроскопичны) и высокопластичны, что позволяет изготавливать методом экструзии длинные световоды – до 50 м и более, против 1 – 5 мм в прототипе. Время высвечивания в 10 раз меньше, чем в прототипе. Световоды нетоксичны, а рабочий температурный диапазон от –60°C до +200°C, т. к. температура плавления галогенидов серебра ~ 420°C. На основе разработанных световодов могут изготавливаться сцинтиллирующие волоконно-оптические устройства и кабели, что дает толчок развитию новых технологий в оптоэлектронике и системах радиационного мониторинга.

Формула изобретения

1. Сцинтилляционный световод, включающий галогенид металла, отличающийся тем, что в качестве галогенида металла используют галогениды серебра и активированную добавку при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: хлорид серебра – 17,980 – 27,000; бромид серебра – 82,000 – 72,499; йодид серебра – 0,010 – 0,500 и активирующая добавка – 0,010 – 0,001.

2. Сцинтилляционный световод по п. 1, отличающийся тем, что в качестве активированной добавки применяют таллий.

3. Сцинтилляционный световод по п. 1, отличающийся тем, что в качестве активированной добавки применяют хром.

4. Сцинтилляционный световод по п. 1, отличающийся тем, что в качестве активированной добавки применяют европий.

5. Сцинтилляционный световод по п. 1, отличающийся тем, что в качестве активированной добавки применяют церий.

Патент № 2158011 РФ Детектор для регистрации нейтронов и гамма-излучения / Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, Д. Б. Шульгин, Е. Г. Ситников, Д. В. Райков, Ф. Г. Плаксин. Заявл. 04.06.1998; опубл. 20.01.2000. Бюл. № 29.

Реферат

Использование: для радиационного мониторинга. Сущность: сцинтилляционный датчик, помещенный в дополнительный коллиматор, содержит сцинтилляционный чувствительный к гамма-излучению кристалл $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO), выполненный в виде кристалла с колодцем, в который помещено в виде вставки чувствительное к нейтронам сцинтиллирующее вещество на основе стирбена или пластмассы, и фотоэлектронный умножитель, причем в блоке электронной обработки сигналов на выходе схемы временной селекции дополнительно помещен амплитудный анализатор сцинтимпульсов. Коллиматор выполнен двухслойным из водородосодержащего замедлителя нейтронов – полиэтилена (внешний слой) и кадмиевого поглотителя нейтронов (внутренний слой). Технический результат – обеспечение направленной регистрации нейтронов (телескопический режим работы детектора), повышенное отношение сигнал/шум нейтронно-чувствительной вставки датчика.

Описание изобретения

Изобретение предназначено для целей радиационного мониторинга, для регистрации (обнаружения) и определения местоположения источников нейтронного излучения на фоне сопутствующего, требующего учета и спектрометрического анализа гамма-излучения в системах технического радиационного контроля наземного, морского и космического базирования, в частности для обнаружения и идентификации источников нейтронного и гамма-излучения, в подразделениях министерства по чрезвычайным ситуациям, в системах таможенного контроля, в пунктах контроля за провозом делящихся материалов (урана, плутония) и в астрофизических системах контроля (за потоками высокоэнергетических нейтронов).

Известные детекторы ядерных излучений содержат, как правило, датчик и блок электронного обработки сигналов (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Пат. 3688118 США; Заявка 0311503 ЕВП (ЕР); Пат. 4482808 США, Пат. 2088952 РФ). Например, селективный детектор по Пат. 3688118 США содержит два датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, в то время как другой чувствителен только к заряженным частицам; число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом с этих датчиков, выделяемым с помощью разностной схемы электронного блока. Однако возможность применимости такового детектора для регистрации незаряженных частиц, в частности гамма-излучения, в Пат. 3688118 США не оговорена. Кроме того, детектор, описанный в Пат. 3688118 США, не может быть использован для работы в телескопическом режиме, т. е. для определения местоположения быстрых нейтронов, поскольку он с одинаковой эффективностью регистрирует нейтроны, поступающие как через торец, так и через боковую поверхность датчика, т. е. он не обладает геометрической избирательностью при регистрации нейтронов.

Известный детектор (Заявка 0311503 ЕВП (ЕР)) нескольких видов излучений включает два сцинтилляционных кристалла с зеленым и красным свечением, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой – к низкоэнергетическому, и электронно-оптический блок регистрации, выделяющий сигналы от разных кристаллов-датчиков с помощью светофильтров (зеленого и красного) и регистрирующий их с помощью фотодиодов. Такой детектор имеет, однако, ограниченные области применения. По данным (Заявка 0311503 ЕВП (ЕР)) он пригоден для регистрации рент-

геновского излучения с двумя различными энергиями. Такой детектор не обладает геометрической избирательностью при регистрации излучения, т. е. не имеет выделенного телескопического направления регистрации излучения и не может определять местонахождения источника быстрых нейтронов и не обеспечивает проведения спектрометрического анализа гамма-излучения.

Известно устройство, описанное в (Пат. 4482808 США), содержащее датчик, в частности, сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и электронную схему селекции (разделения) сигналов (импульсов), создаваемых нейтронами и гамма-лучами. Однако такое устройство имеет весьма ограниченные области применения: любой однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации нейтронов и гамма-лучей в диапазоне энергий до 10 МэВ и выше. Если сцинтилляционный датчик выполнен из водородосодержащего, чувствительного к быстрым нейтронам материала, т. е. из материала с низким эффективным атомным номером, то такой датчик практически не чувствителен к высокоэнергетическому гамма-излучению в диапазоне 1–10 МэВ и выше и тем более не пригоден для спектрометрии жесткого гамма-излучения. Если сцинтилляционный датчик выполнен из материала с высоким эффективным атомным номером, то будучи чувствительным к высокоэнергетическому гамма-излучению, он не будет регистрировать быстрые нейтроны. Таким образом, известное устройство (Пат. 4482808 США) непригодно для одновременной регистрации высокоэнергетического (1–10 МэВ и выше) гамма-излучения и быстрых нейтронов, оно также непригодно для определения местоположения источника нейтронов, поскольку не может работать в телескопическом режиме (не обладает геометрической избирательностью).

Наиболее близким к заявляемому является устройство, описанное в Пат. 2088952 РФ, которое содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. Датчик выполнен в виде последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла на основе ортогерманата висмута $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO), чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также альфа-, бета-, гамма-излучениям, и световода, выполненного из органического водородосодержащего вещества – сцинтиллятора на основе стирбена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, и фотоэлектрического умножителя, а блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от сцинтиллятора и световода. Однако такое устройство имеет достаточно ограниченные области применения: оно непригодно для спектрометрии гамма-излучения и нейтронов и, соответственно, непригодно для идентификации гамма-радионуклидов и идентификации делящихся материалов (урана, плутония и других). Поскольку чувствительный к нейтронам компонент – сцинтиллирующий световод в известном устройстве не имеет боковой защиты, он оказывается одинаково чувствительным к быстрым нейтронам, попадающим в него как через торец, так и через боковую поверхность. Таким образом, известное устройство не обладает геометрической избирательностью при регистрации быстрых нейтронов и, соответственно, непригодно для определения местоположения источников быстрых нейтронов. Кроме того, поскольку сцинтиллирующий нейтронно-чувствительный световод не имеет боковой защиты от гамма-лучей, он оказывается под воздействием сопутствующего гамма-излучения, вызывающего дополнительные сигналы, накладывающиеся на сигналы от нейтронного излучения, что снижает отношение сигнал/шум и снижает чувствительность датчика к нейтронному излучению.

Заявляемое устройство, фиг. 1, содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. Датчик состоит из чувствительного к гамма-излучению кристалла BGO 1 с колодцем и чувствительного к нейтронам сцинтиллирующего вещества 2 на основе стирбена или пластмассы, выполненного в виде сцинтилляционной вставки, размещенной в колодце в кристалле 1, причем сам кристалл BGO размещен в дополнительном

двухслойном коллиматоре, внешний слой которого выполнен из водородосодержащего замедлителя нейтронов полиэтилена 3, а внутренний 4 из кадмия. В состав датчика входит также фотоумножитель 5, находящийся в оптическом контакте как с кристаллом BGO 1, так и со сцинтилляционной вставкой 2. Блок электронной обработки сигналов 6 содержит схему временной селекции, выход которой подключен к входу дополнительно-го амплитудного анализатора сцинтимпульсов.

Сущность изобретения заключается в том, что сцинтилляционный датчик помещается для защиты от нейтронов, поступающих сбоку, в дополнительный двухслойный коллиматор для обеспечения телескопического режима работы и повышения чувствительности и содержит сцинтилляционный чувствительный к гамма-излучению кристалл $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO), выполненный в виде кристалла с колодцем, в который помещено в виде вставки чувствительное к нейтронам сцинтиллирующее вещество на основе стиббена или пластмассы, и фотоэлектронный умножитель, причем в блоке электронной обработки сигналов на выходе схемы временной селекции дополнительно помещен амплитудный анализатор сцинтимпульсов. Стенки кристалла BGO играют роль дополнительной защиты от гамма-излучения для центральной нейтронно-чувствительной сцинтилляционной вставки.

Устройство работает в полях нейтронного и гамма-излучения следующим образом. Под действием быстрых нейтронов от делящихся материалов или других источников, попадающих через незащищенный наружным коллиматором торец датчика на чувствительную к ним пластмассовую $(\text{CH})_n$ или стиббеновую сцинтилляционную вставку, в ней возникают световые вспышки с длиной волны излучения 400 – 420 нм с длительностью 2 – 3 нс и с амплитудой, зависящей от энергии регистрируемого нейтрона. Эти короткие вспышки, создаваемые быстрыми нейтронами, поступают на фотокатод ФЭУ, создавая на его выходе электрические импульсы длительностью 2 – 3 нс, которые поступают на вход схемы временной селекции сцинтимпульсов, которая подсчитывает число импульсов от нейтронов.

Под действием гамма-излучения в сцинтилляционном кристалле BGO возникают световые вспышки с длиной волны излучения 480 – 505 нм и длительностью 300 нс и амплитудой, зависящей от энергии регистрируемых гамма-квантов. Эти вспышки поступают на фотоэлектронный умножитель, создавая электрические импульсы, которые после схемы временной селекции обрабатываются амплитудным анализатором, работающим в спектрометрическом режиме, который позволяет выделять сигналы от гамма-квантов от различных нейтронных источников: от U-235 с энергией гамма-квантов 143 и 185 кэВ и сигналы от гамма-квантов Pu-239 с широким спектром излучения 20 – 500 кэВ с основным максимумом при 393 кэВ, позволяет выделять и различать эти сигналы, т. е. идентифицировать делящиеся материалы. Амплитудный анализатор предназначен также для выделения и идентификации сигналов от других радионуклидов (если они имеются) с энергией до 1 – 3 МэВ и выше. Толщина стенки и дна кристалла BGO с колодцем выбирается такой (15 – 30 мм и более), чтобы регистрируемое им гамма-излучение поглощалось в нем полностью, не достигало центральной сцинтилляционной вставки и не вызывало в ней сцинтимпульсов, обусловленных гамма-излучением радионуклидов или гамма-фоном, что обеспечивает повышенное отношение сигнал/шум нейтронно-чувствительной вставки датчика. Таким образом, схема временной селекции сцинтимпульсов обеспечивает раздельный и общий учет импульсов от гамма-излучения и нейтронов, а амплитудный анализатор на выходе схемы временной селекции обеспечивает спектрометрическую обработку сигналов от гамма-квантов.

Полиэтиленовый внешний слой двухслойного коллиматора замедляет быстрые нейтроны до тепловых энергий, если эти нейтроны поступают в датчик из боковых направлений, отличных от осевого, а кадмиевый внутренний слой двуслойного коллиматора поглощает тепловые нейтроны, не допуская их до центрального сцинтиллятора –

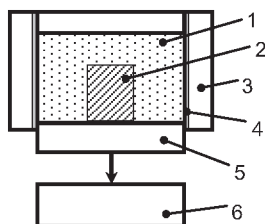
вставки. Конверсионные гамма-кванты, возникающие при взаимодействии тепловых нейтронов с кадмием, реакция (n, α) задерживаются и регистрируются кристаллом BGO, их вклад легко корректируется с помощью амплитудного анализатора, не уменьшая отношения сигнал/шум нейтронно-чувствительной сцинтилляционной вставки датчика. Таким образом, дополнительный двухслойный коллиматор обеспечивает направленную регистрацию нейтронов, поступающих в детектор в осевом направлении, т. е. обеспечивает телескопический режим работы детектора.

Дополнительным преимуществом предлагаемого устройства является то обстоятельство, что стенки сцинтилляционного кристалла BGO играют роль дополнительной защиты от гамма-излучения для центральной нейтронно-чувствительной сцинтилляционной вставки.

Формула изобретения

1. Детектор для регистрации нейтронов и гамма-излучения, содержащий в качестве датчика сцинтилляционный кристалл $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO), сцинтиллирующее вещество на основе стибьена или пластмассы $(\text{CH})_n$, фотоэлектронный умножитель, а также блок электронной обработки сигналов со схемой временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в нее от BGO, стибьена или пластмассы, отличающийся тем, что дополнительно содержит коллиматор, в котором размещен сцинтилляционный чувствительный к гамма-излучению кристалл $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO), выполненный в виде кристалла с колодцем, а чувствительное к нейтронам сцинтиллирующее вещество на основе стибьена или пластмассы выполнено в виде сцинтилляционной вставки, размещенной в колодце кристалла BGO, причем в блоке электронной обработки сигналов на выходе схемы временной селекции сцинтимпульсов дополнительно помещен амплитудный анализатор сцинтимпульсов.

2. Детектор по п. 1, отличающийся тем, что коллиматор выполнен двухслойным из водородосодержащего замедлителя нейтронов полиэтилена – внешний слой коллиматора, и кадмиевого поглотителя тепловых нейтронов – внутренний слой коллиматора.



Фиг. 1

Патент № 2189057 РФ Сцинтилляционный детектор нейтронного и гамма-излучения / О. В. Игнатьев, Б. В. Шульгин, А. Д. Пулин, В. С. Андреев, Л. В. Викторов, В. Л. Петров, Д. В. Райков. Заявл. 13.11.2000; опубл. 10.09.2002. Бюл. № 25.

Реферат

Использование: в дозиметрической таможенной практике, для решения задач Госатомнадзора, для систем радиационного мониторинга и систем специального радиационного технического контроля для обследования ядерных субмарин, подлежащих разборке, для обнаружения и идентификации делящихся материалов (урана, плутония, калифорния и изделий из них) и материалов, относящихся к классу радиоактивных веществ – гамма-источников. Сущность: сцинтилляционный детектор нейтронов и гамма-излучения содержит датчик, выполненный в виде двух параллельно соединенных сцинтилляторов: внешнего нейтронного сцинтиллятора на основе пластмассы (СН)_д или стильбена (сцинтиллятор с колодцем), расположенного в чехле из борсодержащего (нитрида или карбида бора) материала, и размещенного в нем (в колодце внешнего сцинтиллятора) чувствительного к гамма-излучению внутреннего сцинтилляционного кристалла NaI:Тl в стандартном контейнере, также расположенного в чувствительном к тепловым нейтронам чехле из нитрида или карбида бора (естественная смесь изотопов бора или изотоп ¹⁰B), фотоэлектронного умножителя, помещенных в единый корпус, и блок электронной обработки сигналов. Технический результат: обеспечение счета нейтронов широкого спектра энергий как быстрых, так и тепловых с повышенной эффективностью.

Описание изобретения

Изобретение относится к области дистанционного одновременного детектирования источников нейтронного и гамма-излучения, особо источников нейтронов на фоне гамма-излучения, и предназначено для использования в дозиметрической таможенной практике для решения задач Госатомнадзора, для систем радиационного мониторинга и систем специального радиационного технического контроля для обследования ядерных субмарин, подлежащих разборке, для обнаружения и идентификации делящихся материалов (урана, плутония, калифорния и изделий из них) и материалов, относящихся к классу радиоактивных веществ – гамма-источников.

Известные детекторы ядерных излучений содержат, как правило, датчик и блок электронной обработки сигналов (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Пат. 4482808 США; Пат. 2142147 РФ; Пат. 3688118 США; Заявка 0311503 ЕВП (ЕР); Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с.; Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990).

Известны сцинтилляционные детекторы гамма-излучения, включающие датчик (блок детектирования) и блок электронной обработки сигналов (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Пат. 4482808 США), в которых датчик содержит сцинтилляционный неорганический кристалл и фотодетектор (фотоэлектронный умножитель или фотодиод). Сцинтилляционный кристалл (один из щелочно-галогидных кристаллов или один из кристаллов на оксидной основе) имеет обычно цилиндрическую форму диаметром $10^{-1}50$ мм и высотой $10^{-1}50$ мм, или он имеет кубическую форму $10 \times 10 \times 10$ мм³ при фотодиодной регистрации. Однако детекторы с таким датчиком непригодны для регистрации нейтронного излучения, поскольку датчик не содержит элементы, чувствительные к нейтронам.

Известен сцинтилляционный детектор бета-, гамма- и нейтронного излучения по Пат. 2142147 РФ, содержащий датчик – сцинтилляционный кристалл, например

$\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ или стильбен, сместитель спектра (в виде тонкой сцинтиллирующей пленки или кристалла) и кремниевый PIN-фотодиод, а также блок электронной обработки сигналов. Однако такой детектор не предназначен для одновременной эффективной регистрации нейтронного и гамма-излучения. Если в качестве сцинтилляционного в датчике используется кристалл $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$, то последний будет регистрировать только гамма-кванты и не будет регистрировать нейтроны. Если в качестве сцинтилляционного кристалла датчик содержит стильбен, то последний будет регистрировать в основном нейтроны. Поскольку в детекторах с диодной регистрацией из-за малых размеров диодов стандартный размер сцинтилляционных кристаллов невелик (обычно кубик $10\times10\times10\text{ мм}^3$), то и эффективность регистрации нейтронов и тем более гамма-квантов будет при дистанционных измерениях мала, не выше 1 %. Кроме того, детектор по Пат. 2142147 РФ непригоден для регистрации медленных и тепловых нейтронов, он способен регистрировать только быстрые нейтроны по протонам отдачи.

Известен детектор нейтронов сцинтилляционного типа с датчиком на базе кристаллов $^6\text{LiI}:\text{Eu}$, содержащий изотоп ^6Li (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с). Однако такой детектор является гигроскопичным и имеет весьма большую длительность сцинтилляций (1400 нс), что не позволяет обеспечить высокую загрузочную способность детектора, а главное такой детектор регистрирует только тепловые нейтроны, но не регистрирует быстрые нейтроны, он обладает низкой чувствительностью (эффективностью) при регистрации нейтронов на гамма фоне, поскольку, наряду с тепловыми нейтронами, детектор одновременно регистрирует и гамма кванты, сигналы от которых трудно разделить, поскольку имеют одинаковые спектральные и временные параметры. Кроме того, известный детектор не пригоден для спектрометрии гамма-излучения.

Известный селективный детектор нейтронов по Пат. 3688118 США содержит два датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, в то время как другой чувствителен только к заряженным частицам; число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом с этих датчиков, выделяемым с помощью разностной схемы электронного блока. Однако возможность применения такого детектора для регистрации и спектрометрии гамма-излучения в Пат. 3688118 США не оговорена.

Известный детектор нескольких излучений (Заявка 0311503 ЕВП (ЕР)) имеет датчик, включающий два сцинтилляционных кристалла с зеленым и красным свечением, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой – к низкоэнергетическому, и два фотодиода, выделяющих сигналы с помощью светофильтров (зеленого и красного) и регистрирующий их с помощью блока электронной обработки сигналов. Такой детектор имеет ограниченные области применения, по данным Заявки 0311503 ЕР он пригоден для регистрации рентгеновского излучения с двумя различными энергиями, однако он непригоден для регистрации нейтронов и одновременно для спектрометрии гамма-излучения.

Известен всеволновой детектор нейтронов (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с), датчик которого состоит из ^3He счетчиков, чувствительных к тепловым нейтронам. Его чувствительность к быстрым нейтронам невысока: не более 10 %, он их регистрирует после замедления. Такой детектор непригоден для одновременной регистрации нейтронов и гамма-излучения, непригоден для спектрометрии гамма-излучения.

Известен детектор (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990), датчик которого представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации гамма-излучения и быстрых нейтронов. Детектор имеет следующие характеристики: длительность сцинтиллимпульса, создаваемого нейтроном или гамма-квантом – 8,5 нс;

световой выход УЕСВ (по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ – 0,29; максимум спектра люминесценции 490 нм, диаметр и высота до 50 мм. Однако такой детектор непригоден для спектрометрии гамма-излучения и непригоден для регистрации тепловых нейтронов.

Известен детектор надтепловых нейтронов (Пат. 4241253 США), который содержит датчик тепловых нейтронов, защиту от тепловых нейтронов, окружающую этот датчик; замедлитель надтепловых нейтронов, которые проникают через защиту, с тем чтобы уже замедленные нейтроны легче поглощались счетчиком. Толщина замедлителя и отношение диаметра счетчика к внешнему диаметру замедлителя таковы, что максимальную скорость счета можно получить в случае, когда счетчик полностью заполняет внутренний диаметр защиты от тепловых нейтронов. Однако известный детектор не позволяет регистрировать гамма-излучение и, соответственно, не позволяет обеспечить спектрометрию гамма-излучения.

Известен детектор, аналогичный детектору (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990), для регистрации ионизирующего излучения по Пат. 4482808 США. Детектор содержит датчик, в частности сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако любой однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации нейтронов и гамма-лучей, поскольку не обладает достаточно высокой чувствительностью, избирательностью и необходимыми функциональными возможностями. Известный детектор (Пат. 4482808 США) непригоден для спектрометрии гамма-излучения.

Известен детектор (Пат. 2088952 РФ), он содержит датчик и блок электронной обработки сигналов; датчик выполнен в виде последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также альфа-, бета-, гамма-излучениям, и световода, выполненного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стилибена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, фотоэлектронного умножителя преобразующего световые вспышки (сцинтилляции) в электрические сигналы, а блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него от альфа-, бета-, гамма-сцинтиллятора $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и от световода, сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов. Однако известный детектор, будучи чувствителен к быстрым нейтронам, непригоден для регистрации тепловых нейтронов. Кроме того, это известное устройство, в котором используются в качестве альфа-, бета-, гамма-сцинтиллятора ортогерманат висмута $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, не может обеспечить спектрометрический режим с высоким энергетическим разрешением. Энергетическое разрешение этих кристаллов обычно составляет 15 – 20 %, тогда как у кристаллов NaI:Tl оно в 2 – 3 раза лучше и составляет 6 – 8 %.

Известны детекторы нейтронов (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с), использующие реакцию захвата нейтрона (n, α), сопровождающуюся излучением 3 или 4 гамма-квантов с общей энергией приблизительно 4–8 МэВ. В частности, известен (n, α)-детектор на основе жидкого сцинтиллятора, в который помещены пластинки поглощающего вещества, такого как кадмий (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с). Кадмий поглощает медленные нейтроны и испускает гамма-кванты (реакция (n, α)), которые вызывают световые вспышки в жидком сцинтилляторе. Известен также (n, α)-детектор со сцинтиллятором NaI:Tl , окруженным чехлом из серебра (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с) – серебро имеет большой резонансный пик для реакции (n, α). Серебро эффективно поглощает нейтроны резонансных энергий вследствие реак-

ции (n , α) и испускает гамма-кванты, которые регистрируются сцинтилляционным кристаллом NaI:Tl. Однако такие детекторы очень дороги из-за высокой стоимости кадмия и серебра, а детектор на базе NaI:Tl с чехлом из серебра не может регистрировать быстрые нейтроны.

Наиболее близким к заявляемому является устройство по Пат. 2143711 РФ, которое содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. Датчик выполнен в виде трех параллельно-последовательно соединенных сцинтилляторов: внешнего нейтронного сцинтиллятора, выполненного из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородосодержащего вещества на основе пластмассы $(CH)_n$ или стильбена (сцинтиллятор с колодцем), и размещенного в нем (в колодце внешнего сцинтиллятора) сцинтилляционного кристалла NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительного к гамма-излучению, и внутреннего сцинтиллятора на основе 6Li -силикатного стекла, активированного церием, чувствительного к тепловым нейтронам, и фотоэлектронного умножителя, помещенных в единый корпус, а блок электронной обработки сигналов включает схему внутренней временной селекции сцинтимпульсов от нейтроно-чувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl. Внешний нейтронный сцинтиллятор (выполненный из водородосодержащего вещества, избирательно чувствительного к быстрым нейтронам и регистрирующего их по создаваемым ими световым вспышкам) одновременно является замедлителем быстрых нейтронов, причем толщина внешнего сцинтиллятора выбирается такой, чтобы нейтроны замедлялись до тепловых энергий. Тепловые же нейтроны регистрируются внутренним стеклянным сцинтиллятором, содержащим изотоп 6Li , за счет ядерной реакции ${}^6Li(n, \alpha){}^3H$: возникающая в результате этой реакции альфа-частица вызывает внутри сцинтиллятора световые вспышки. Внутренний нейтронный сцинтиллятор изготовлен из материала (стекла), прозрачного для световых вспышек, поступающих на фотоэлектронный умножитель от внешнего нейтронного сцинтиллятора и от размещенного в колодце кристалла NaI:Tl. Для этих вспышек он играет роль световода. Кристалл NaI:Tl («утробный» сцинтиллятор) служит для регистрации гамма-квантов. Известное устройство работает в полях нейтронного и сопутствующего ему и требующего учета и спектрометрического анализа гамма-излучения. Когда нейтронное и гамма-излучение пройдет через чувствительные элементы (сцинтилляторы) датчика с ФЭУ, на блок электронной обработки информации будут поступать три группы сигналов, различающихся по длительности. Одна группа сигналов, связанная с быстрыми нейтронами, будет иметь малую длительность не выше 3 – 5 нс, вторая группа сигналов, связанная с регистрацией тепловых нейтронов, будет иметь длительность ~ 60 нс и, наконец, третья группа сигналов, обусловленная гамма-квантами, имеет длительность ~ 250 нс. Эти группы сигналов разделяются схемой временной селекции. Выделенная группа сигналов с длительностью 250 нс поступает на спектрометрический блок-анализатор, позволяющий определить спектр энергий регистрируемого гамма-излучения. Слабые дополнительные сигналы от гамма квантов, возникающие в водородосодержащем сцинтилляторе с длительностью 3 нс, легко дискриминируются. Таким образом, известное устройство обеспечивает счет нейтронов и спектрометрический анализ гамма-квантов.

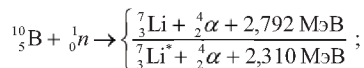
Однако известное устройство по Пат. 2143711 РФ имеет недостаточно высокую надежность в эксплуатации в связи со сложностью обеспечения качественных оптических контактов трех параллельно-последовательно соединенных сцинтилляторов и имеет высокую стоимость, определяемую стоимостью компоненты датчика, ответственной за регистрацию тепловых нейтронов, т. е. стоимостью стекла с изотопом 6Li (до 50 долларов США за один грамм стекла). Кроме того, для ядер лития сечение взаимодействия σ для нейтронов тепловых энергий и резонансные интегралы взаимодействия I сравнительно невелики (в сравнении с таковыми, например, для ядер ${}^{10}B$, табл. 5 (Машко-

вич В. П. Защита от ионизирующих излучений / В. П. Машкович, Л. В. Кудрявцева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 494 с)). Для естественной смеси изотопов лития (содержащей и изотоп ${}^6\text{Li}$) при реакции поглощения ими нейтронов $\sigma = 70,5 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$ (70,5 барн), а $I = 32 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$ (32 барн). Непосредственно для изотопа ${}^6\text{Li}$ $\sigma = 940$ барн (реакция (n, α)), а $I = 425,5$ барн. Таким образом известный детектор по Пат. 2143711 РФ не обеспечивает высокой эффективности регистрации тепловых нейтронов.

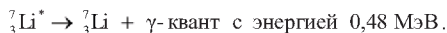
Предлагаемое устройство обеспечивает более высокую эффективность регистрации как быстрых, так и тепловых нейтронов в счетном режиме, а также регистрацию гамма-излучения в спектрометрическом режиме с высоким энергетическим разрешением. Блок-схема заявляемого устройства приведена на фиг. 1. Заявляемое устройство содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. Датчик выполнен в виде двух параллельно соединенных сцинтилляторов: внешнего нейтронного сцинтиллятора 1 из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородосодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стильбена (сцинтиллятор с колодцем) с чехлом из борсодержащего (нитрида или карбида бора) материала 2, размещенного в нем (в колодце внутреннего сцинтиллятора) чувствительного к гамма-излучению сцинтилляционного кристалла NaI:Tl 3 в стандартном контейнере, и в чувствительном к тепловым нейтронам чехле 4 из нитрида или карбида бора (естественная смесь изотопов бора или изотоп ${}^{10}\text{B}$) и фотозлектронного умножителя 5, помещенных в единый корпус 6, блок электронной обработки сигналов 7 включает схему временной селекции сцинтимпульсов от органического внешнего сцинтиллятора 1 и внутреннего неорганического сцинтиллятора 3, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от гамма-сцинтилляционного кристалла NaI:Tl.

Сущность изобретения заключается в том, что предлагаемое устройство, наряду с регистрацией быстрых нейтронов (органическим сцинтиллятором 1), обеспечивает и эффективную регистрацию медленных нейтронов по реакции (n, $\alpha\gamma$) с помощью чехлов из борсодержащего материала. Первичные тепловые нейтроны от обнаруживаемого источника ДМ регистрируются по реакции (n, $\alpha\gamma$) с помощью чехла 2 из борсодержащего материала. Быстрые нейтроны регистрируются внешним нейтронным сцинтиллятором, выполненным из водородосодержащего вещества, избирательно чувствительного к быстрым нейтронам и регистрирующего их по создаваемым протонами отдачи световым вспышкам. Не все быстрые нейтроны (обычно не более 10 %) регистрируются водородосодержащим сцинтиллятором. Чтобы они не «вышли из игры», водородосодержащее вещество используют в качестве замедлителя быстрых нейтронов. Причем размеры внешнего сцинтиллятора 1 выбираются такими, чтобы нейтроны замедлялись им до тепловых энергий. Далее тепловые нейтроны поглощаются ядрами бора, входящими в состав чехла 4, содержащего бор в виде естественной смеси изотопов или в виде изотопа ${}^{10}\text{B}$, и вступают в реакцию (n, $\alpha\gamma$): возникающие в результате этой реакции гамма-кванты попадают в чувствительный к гамма-излучению сцинтиллятор NaI:Tl и вызывают внутри сцинтиллятора световые вспышки. Существенная новизна предлагаемого изобретения заключается в том, что внутренний «утробный» сцинтиллятор NaI:Tl несет информацию как о гамма-составляющей, так и нейтронной компоненте излучения от источника ДМ. Кристалл-сцинтиллятор регистрирует несколько типов гамма-квантов: регистрирует внешние гамма-кванты, соответствующие измеряемому гамма-полю, и внутренние гамма-кванты, рожденные тепловыми нейтронами ((n, $\alpha\gamma$)-реакция) во внутреннем чехле из борсодержащего материала. Тепловые нейтроны первичного излучения регистрируются после их поглощения во внешнем чехле из борсодержащего материала по реакции (n, $\alpha\gamma$) с последующей регистрацией рождаемого в этой реакции гамма-кванта как внешним сцинтиллятором из пластмассы или стильбена, так и внутренним NaI:Tl сцинтиллятором.

Устройство работает в полях нейтронного (быстрые и тепловые нейтроны) и сопутствующего ему и требующего учета и спектрометрического анализа гамма-излучения следующим образом. Под действием быстрых нейтронов, попадающих в объем внешнего сцинтиллятора (из стильбена или прозрачной пластмассы (CH)_n), в нем возникают световые вспышки с длиной волны излучения 400 – 420 нм с длительностью до 2 – 3 нс. Эти световые вспышки, создаваемые быстрыми нейтронами, поступают через оптический контакт на фотокатод ФЭУ, создавая на его выходе электрические импульсы длительностью 2 – 3 нс. Быстрые нейтроны, проходя через внешний нейтронный сцинтиллятор, вследствие столкновения с ядрами водорода и последующей ионизации среды несут радиационные потери частично в виде световых вспышек (благодаря чему они и регистрируются). Однако они теряют свою энергию в основном не за счет этих световых вспышек, а за счет столкновений с ядрами водорода, входящего в состав сцинтилляционного материала, при этом они замедляются, но не выбывают «из игры», а регистрируются как тепловые нейтроны по реакции (n, αγ). Толщина внешнего сцинтиллятора, играющего одновременно роль замедлителя быстрых нейтронов, выбирается такой, чтобы быстрые нейтроны перед попаданием в чехол (из борсодержащего материала), окружающий внутренний кристалл NaI:Tl, были замедлены до тепловых энергий. Тепловые нейтроны поступают в чехол 4, имеющий в своем составе ядра бора в виде естественной смеси изотопов (всегда содержащей значительный процент изотопа ¹⁰B) или в виде изотопа ¹⁰B. Ядра ¹⁰B обеспечивают (см. табл. 5) высокую эффективность захвата тепловых нейтронов с сечением взаимодействия σ = 767 барн для естественной смеси изотопов (что в 10 раз выше, чем в известном детекторе (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с), где тепловые нейтроны регистрировались за счет реакции (n, α) ядрами ⁶Li). Реакция (n, αγ) на ядрах ¹⁰B идет в две стадии. На первой стадии (1) вследствие реакции (n, α) образуются ядра ⁷Li и альфа-частица, причем часть ядер ⁷Li образуется в возбужденном состоянии (Knoll G. F. Radiation Detection and Measurement / G. F. Knoll. N-Y.: John Wiley and Sons. 483 p). Альфа-частица поглощается в чехле без регистрационных последствий (чехол непрозрачен и сцинтилляция под действием альфа-частицы в нем не происходит). Вторая стадия реакции (n, αγ) состоит в том, что возбужденное ядро ⁷Li переходит в основное состояние с испусканием гамма-кванта с энергией ~ 0,48 МэВ (Knoll G. F. Radiation Detection and Measurement / G. F. Knoll. N-Y.: John Wiley and Sons. 483 p). Этот гамма-квант попадает в сцинтиллятор NaI:Tl и регистрируется в нем благодаря производимым им световым вспышкам (сцинтилляцией). В формульном представлении реакция (n, αγ) имеет вид



а затем через ~ 10⁻¹³ с



Гамма-кванты имеют 4π-распределение (т. е. испускаются сферически симметрично). Такие гамма-кванты поступают не только в кристалл NaI:Tl, но и во внешний органический сцинтиллятор. Однако эффективность их регистрации внешним органическим сцинтиллятором из-за его малого атомного номера намного меньше, чем таковая для NaI:Tl сцинтиллятора, и они легко дискриминируются при анализе.

Тепловые нейтроны, присутствующие в первичном потоке нейтронов от делящихся материалов, поступая в детектор, непосредственно взаимодействуют с борсодержащим материалом внешнего чехла 2 (взаимодействуют в конечном итоге с ядрами ¹⁰B). Происходит описанная выше реакция (n, αγ) с выходом гамма-квантов с энергией

0,48 МэВ. Эти гамма-кванты регистрируются в основном внутренним «утробным» неорганическим сцинтиллятором и частично (с меньшей вероятностью) внешним органическим сцинтиллятором, создавая в них световые вспышки, которые с помощью ФЭУ преобразуются в электрические импульсы и анализируются с помощью спектрометрической схемы блока электронной обработки сигналов, позволяющего подчитать плотность потока тепловых нейтронов в первичном нейтронном пучке, создаваемом делящимися материалами, подлежащими обнаружению.

Первичные гамма-кванты (жесткой части спектра 0,5 – 3 МэВ), испускаемые источником излучения, подлежащим обнаружению и идентификации, легко проникают через тонкие стенки корпуса детектора, через внешний чехол и через сам водородосодержащий материал внешнего сцинтиллятора и регистрируются в основном с помощью входящего в состав датчика тяжелого кристалла NaI:Tl, размещенного в колоде («утробе») внешнего сцинтиллятора. Гамма-кванты вызывают в кристалле NaI:Tl световые вспышки с длиной волны 410 нм и длительностью $\tau = 250$ нс. Эти световые вспышки через оптический контакт поступают на фотокатод ФЭУ, создавая на его выходе электрические импульсы, длительностью 250 нс. Первичные гамма-кванты, особенно мягкой области спектра 0,4–0,5 МэВ, частично регистрируются и внешним органическим сцинтиллятором. Однако электрические импульсы, создаваемые последним, при длительности 3 – 5 нс имеют в несколько раз меньшую амплитуду (их число невелико) в отличие от таковых, создаваемых кристаллом NaI:Tl.

Таким образом, когда нейтронное и гамма-излучение взаимодействует с чувствительными элементами датчика, на блок электронной обработки сигналов с ФЭУ поступает несколько основных групп сигналов, различных по длительности и амплитуде. Одна группа сигналов, создаваемая быстрыми нейтронами, имеет малую длительность, не выше 3 – 5 нс, и достаточно высокую амплитуду, это сигналы от органического сцинтиллятора. Эффективность регистрации быстрых нейтронов пластиком или кристаллом стиблена зависит от их размеров (чем больше размеры, тем выше эффективность, – до определенных пределов) и колеблется в пределах 5 – 20 % и выше. То есть значительная доля быстрых нейтронов не регистрируется органическим сцинтиллятором. Однако незарегистрированные быстрые нейтроны не «выбывают из игры», они замедляются водородосодержащим веществом, подготавливаются для дальнейшей регистрации по реакции (n, α) на ядрах бора. Гамма-кванты при этом регистрируются в основном кристаллом NaI:Tl, что образует вторую группу сигналов длительностью 250 нс, легко выделяемую спектрометрическим трактом в «окне энергий», соответствующем энергии 0,48 МэВ. Такая обработка анализируемого гамма-нейтронного поля повышает эффективность регистрации нейтронов до 30 % и выше (при достаточно больших размерах пластикового детектора). В эту же группу сигналов, но меньшей амплитуды в слегка смещенном «окне» 0,48 МэВ, попадают и сигналы, создаваемые первичными тепловыми нейтронами от источника, после их взаимодействия с ядрами бора в чехле 2, окружающем органический сцинтиллятор.

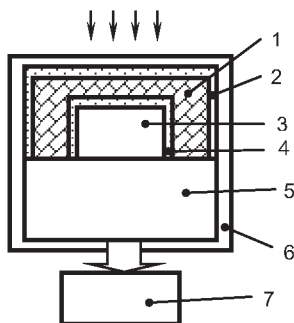
Третья группа сигналов длительностью 250 нс создается неорганическим сцинтиллятором NaI:Tl, регистрирующим первичное гамма-излучение от источников. Эта группа сигналов отличается широким спектром амплитуд. Спектрометрический режим блока электронной обработки сигналов позволяет провести анализ амплитуд импульсов и идентифицировать источники гамма-излучения. Четвертая группа сигналов длительностью 3 – 5 нс соответствует как первичным, так и вторичным (вследствие реакции (n, α)) гамма-квантам, вызвавшим световые вспышки в органическом сцинтилляторе. При необходимости эта группа сигналов легко дискриминируется. Таким образом, предлагаемое устройство обеспечивает счет нейтронов широкого спектра энергий как быстрых, так и тепловых с повышенной эффективностью, обеспечивает регистрацию и спектрометрический анализ гамма-квантов.

Дополнительным преимуществом предлагаемого устройства является дешевизна чувствительного к тепловым нейтронам материалов – бора: бор в сотни раз дешевле серебра, кадмия или изотопа лития-7, применяемых ранее в детекторах нейтронов (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с).

Формула изобретения

1. Сцинтилляционный детектор нейтронного и гамма-излучения, содержащий датчик, включающий размещенные в едином корпусе внешний нейтронный сцинтиллятор, выполненный из чувствительного к быстрым нейтронам водородосодержащего вещества на основе пластмассы $(CH)_n$ или стиральбена, внутренний чувствительный к гамма-излучению сцинтиллятор $NaI:Tl$, размещенный в колодце внешнего сцинтиллятора, фотоэлектронный умножитель, и блок электронной обработки сигналов, включающий схему временной селекции и спектрометрический анализатор сцинтимпульсов, отличающийся тем, что датчик дополнительно содержит два чехла из борсодержащего материала, обеспечивающих реакцию $(n, \alpha\gamma)$, причем первый чехол охватывает внешний органический сцинтиллятор, а второй чехол охватывает контейнер внутреннего сцинтиллятора $NaI:Tl$ и расположен в колодце внешнего сцинтиллятора.

2. Детектор по п. 1, отличающийся тем, что в качестве борсодержащего материала для чехлов используют нитрид или карбид бора, при этом толщину чехлов из борсодержащего материала выбирают достаточной для полного поглощения тепловых нейтронов.



Фиг. 1

Таблица 1
Сечения взаимодействия σ для нейтронов тепловых энергий и резонансные интегралы взаимодействия I

Химический символ и атомный номер	Атомный вес	Тип сечения взаимодействия	$\sigma, 10^{-24} \text{ см}^2$	$I, 10^{-24} \text{ см}^2$
Li	Естественная смесь изотопов	поглощение	70,5	32
	Изотоп ${}^6\text{Li}$	(n, α)	940	425
B	Естественная смесь изотопов	поглощение	767	344,4
	Изотоп ${}^{10}\text{B}$	поглощение	3837	1722

Патент № 2190240 РФ Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, Т. С. Королева, В. Л. Петров, Д. В. Райков, Л. В. Жукова, В. В. Жуков, Д. Б. Шульгин. Заявл. 13.11.2000; опубл. 27.09.2002. Бюл. № 27.

Реферат

Использование: в комплексах и системах радиационного мониторинга для обнаружения делящихся материалов и радиоактивных веществ в недоступных для обычных детекторов каналах, щелях, лабиринтах, трубах; изобретение пригодно также для регистрации нейтрино при глубоководных измерениях. Сущность: сцинтиллятор датчика выполнен в виде сцинтилляционного волоконно-оптического кабеля, состоящего из чехла-оболочки и витой пары или набора нескольких витых пар из волоконно-оптических нитеподобных сцинтилляторов-световодов, один из которых, неорганический сцинтиллятор, изготовленный из галогенидов серебра (AgCl-AgBr) с активирующими добавками, чувствителен к гамма-излучению и замедленным нейтронам, второй, органический сцинтиллятор, выполнен из пластика $(\text{CH})_n$, чувствителен к быстрым нейтронам. Выносной конец сцинтилляционного кабеля снабжен отражателем света, а другой конец оптически соединен с фотоэлектронным умножителем. Технический результат – возможность обнаружения радиационного излучения в труднодоступных местах, повышение эффективности регистрации нейтрино.

Описание изобретения

Изобретение относится к области детектирования скрытых источников нейтронного и гамма-излучения и может быть использовано в дозиметрической таможенной и криминалистической практике, а также в системах специального технического контроля, предназначенных для обнаружения и идентификации изделий из делящихся материалов (ДМ), являющихся источниками нейтронного и гамма-излучения, и материалов, относящихся к классу радиоактивных веществ (РВ) (гамма-источников); изобретение пригодно также для проведения глубоководной регистрации нейтрино в экспериментах типа «DUMAND».

Известны сцинтилляционные детекторы гамма-излучения, имеющие датчик из неорганического сцинтиллятора с фоточувствительным элементом (фотоэлектронным умножителем или фотодиодом) и блок электронной обработки сигналов (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Физический энциклопедический словарь. Т. 5. М.: Советская энциклопедия, 1966. С. 109.; Пат. 4483808 США). Кристаллы сцинтиллятора (щелочно-галогидные кристаллы или кристаллы на оксидной основе) имеют обычно цилиндрическую форму диаметром от 10 до 150 мм и высотой от 10 до 150 мм, или они имеют квадратную форму $10 \times 10 \times 10 \text{ мм}^3$ при фотодиодной регистрации. Эффективность регистрации гамма-излучения такими детекторами достаточно высока. Однако такие детекторы, в том числе переносные, не могут быть использованы для специального технического контроля при поиске ДМ и РВ в щелях, в узких трубах или других местах лабиринтного типа, куда доступ твердотельных негибких сцинтиблоков невозможен. Известные сцинтилляционные детекторы не пригодны для использования в глубоководных детекторах типа DUMAND – Deep Underwater Muon and Neutrino Detector» (Photomultiplier Tubes. Principles and Applications. Philips Photonics. Philips Export. 1994).

Известен волоконно-оптический детектор (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с). В качестве датчика содержит нити из пластикового сцинтиллятора диаметром 1 мм, заполняющие лоситовый каркас размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}^3$. Такой детектор имеет низкую эффективность регистрации гамма-излучения, и, главное, он не предназначен для ди-

станционной работы в щелях или трубах глубиной до 10^{-15} м. Он не пригоден для глубоководной регистрации излучений из-за малой чувствительности.

Известен трековый детектор (Свид-во Роспатента № 1756 от 16.02.1996 на полезную модель «Волоконно-оптический трековый детектор»), датчик которого состоит из набора сцинтилляционных волокон на основе галогенидов серебра при диаметре волокна 0,05 мм (диаметр сборки в люцитовом каркасе 50 мм), а в качестве фотоприемника применен электронно-оптический преобразователь с микроканальной пластиной. Этот детектор пригоден для определения треков регистрируемых частиц большой энергии, однако он не пригоден для дистанционного обнаружения гамма-источников, находящихся в узких и длинных лабиринтных щелях и трубах. Неизвестно его применение для регистрации нейтронов. Он не пригоден для глубоководной регистрации нейтрино.

Известен сцинтилляционный детектор бета-, гамма- и нейтронного излучения (Пат. 2142147 РФ), содержащий в качестве датчика сцинтилляционный кристалл, например $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ или стильбен, сместитель спектра в виде тонкой сцинтиллирующей пленки или кристалла и кремниевый PIN-фотодиод в качестве фотоприемника. Однако такой детектор не предназначен для одновременной регистрации нейтронного и гамма-излучения (кристалл $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ не регистрирует нейтроны) и не пригоден для поиска и обнаружения ДМ и РВ в узких щелях лабиринтного типа цилиндрического или любого другого сечения. Этот детектор не пригоден для глубоководной регистрации излучений из-за малой чувствительности.

Известны волоконно-оптические детекторы гамма-излучения на основе кварцевых волокон (Dianov E. M. [et al.]. Electronics letters. 1995. Vol. 31, № 17. P. 1490 – 1491) и на основе волокон KU или KS-4V (Dianov E. M. [et al.]. Electronics letters. 1999. Vol. 35, № 2. P. 170 – 171). Однако они представляют собой детекторы интегрального абсорбционного типа. Измерение дозы облучения проводят, измеряя интенсивность наведенных излучением полос в спектрах поглощения волокон. Такие детекторы не пригодны для работы в режиме реального (on line) времени. Кроме того, они чувствительны только к высоким дозам гамма-излучения (от десятков грей до мегагрей). Они не чувствительны к слабым потокам ионизирующих излучений и не пригодны для обнаружения радиоактивных веществ в реальной рабочей обстановке. Они совершенно не пригодны для глубоководной регистрации излучений.

Известен кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ–2 (Пат. 2066464 РФ) для сцинтилляционного детектора, отличающийся пластичностью, малым временем высвечивания и высокой прозрачностью в видимом и инфракрасном диапазонах. Основу кристаллов сцинтиллятора ЛИЯ–2 составляют галогениды серебра ($\text{AgCl}-\text{AgBr}$). В Пат. 2066464 РФ описано применение кристаллического сцинтиллятора ЛИЯ–2 для регистрации альфа-частиц ($\text{Pu}-239$), ускоренных электронных пучков наносекундной длительности и рентгеновского излучения. Однако применение сцинтиллятора (Пат. 2066464 РФ) для регистрации нейтронов неизвестно. Применение сцинтиллятора ЛИЯ–2 в виде волокон в Пат. 2066464 РФ не описано.

Известен сцинтилляционный датчик для детектора гамма-излучения в виде волоконного световода из йодида натрия по Пат. 4586785 США. Недостатком датчика из сцинтилляционного световода является его высокая гигроскопичность, низкая прочность и малая длина (несколько миллиметров). Он не пригоден для обнаружения ДМ и РВ в каналах, лабиринтах, щелях. Он также не пригоден для глубоководных измерений нейтрино.

Известен сцинтилляционный детектор для регистрации нейтрино (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с) по их реакции с водородом с образованием позитрона и нейтрона $\nu + {}^1_1\text{H}^1 \rightarrow {}^1_0\text{e}^0 + {}^1_0\text{n}^1$. Детектор был приготовлен в виде сосуда с 300 л жидкого сцинтиллятора с добавлением пропионата кадмия. Сосуд имел цилиндрическую форму и был окружен 90 фотоумножителями. Позитроны реги-

стрировались непосредственно жидким сцинтиллятором. Нейтроны замедлялись до тепловых энергий, поглощались ядрами кадмия и регистрировались по реакции (n, γ). Однако такой детектор содержит большое число фотоумножителей и очень дорог.

Известен сцинтилляционный детектор для регистрации надтепловых нейтронов (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с). В качестве датчика он содержит сцинтиллятор NaI:Tl, окруженный чехлом из серебра, ядра которого имеют большой резонансный пик для реакции (n, γ). Однако такой детектор не пригоден для поиска и обнаружения нейтронных источников, расположенных в узких каналах, щелях, лабиринтах, не пригоден для глубоководных измерений нейтрино.

Наиболее близким к заявляемому является сцинтилляционный детектор (Пат. 2143711 РФ), который содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. Датчик выполнен в виде трех различных объемных сцинтилляторов: (1) нейтронного сцинтиллятора, выполненного из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородсодержащего вещества на основе пластмассы $(CH)_n$ или стильбена, (2) сцинтилляционного кристалла NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительного к гамма-излучению, и (3) сцинтиллятора на основе 6Li -силикатного стекла, активированного церием, чувствительного к тепловым нейтронам, а также фотоэлектронного умножителя, помещенных в единый корпус. Известное устройство обеспечивает регистрацию нейтронов и гамма-квантов в обычных лабораторных и полевых условиях. Однако известное устройство (Пат. 2143711 РФ) из-за своих больших габаритов не пригодно для поиска и обнаружения ДМ и РВ в узких щелях, лабиринтах, изогнутых трубах, оно также не пригодно для глубоководной регистрации нейтрино.

Заявляемое устройство содержит в корпусе 1 датчик из комбинированного сцинтиллятора 2 с фотоэлектронным умножителем 3 и блок электронной обработки сигналов 4. Комбинированный сцинтиллятор датчика 2 выполнен в виде сцинтилляционного волоконно-оптического кабеля, состоящего из чехла-оболочки 5 и витой пары (или набора нескольких витых пар) из длинных (от 30 – 100 см до 10^{-100} м и более) волоконно-оптических нитеподобных сцинтилляторов – световодов: один из них, неорганический сцинтиллятор, изготовлен из галогенидов серебра ($AgCl-AgBr$) с активирующими добавками, другой – органический сцинтиллятор изготовлен из пластика $(CH)_n$. Один конец каждой витой пары сцинтилляционного кабеля (выносной конец) снабжен отражателем света 6, другой конец витой пары сцинтилляционного кабеля (контактный конец) имеет оптический контакт 7 с фотоэлектронным умножителем 3. Фотоэлектронный умножитель 3 и контактные концы 7 сцинтилляционного кабеля 2 помещены в единый корпус 1 непрозрачный при наземных измерениях, при этом выносной конец каждого сцинтилляционного кабеля (из витой пары или набора витых пар) вынесен за пределы корпуса 1 и снабжен гибким тросом и штангой-держателем. Комбинированный сцинтиллятор для глубоководных измерений состоит из нескольких (до 10^{20} и более) сцинтилляционных кабелей с прозрачными чехлами и имеет вид радиально-лучистой или сетевой системы, образующей распределенную в водном пространстве (объеме) своеобразную «оптическую антенну» (фиг. 1).

Устройство работает следующим образом. Гамма-излучение, попадая в оба сцинтиллятора датчика, вызывает появление в них световых вспышек, которые, вызывая в фотоэлектронном умножителе (ФЭУ) появление электрических импульсов, число которых подсчитывается затем счетчиком в блоке электронной обработки сигналов.

Сцинтилляционные волоконно-оптические световоды, образующие витую пару сцинтилляционного кабеля, имеют различные максимумы свечения (λ_m) и длительности сцинтилляций (τ): для галогенидов серебра $\lambda_m = 400$ нм, $\tau = 20$ нс, и для пластика $\lambda_m = 410 - 530$ нм, $\tau = 3 - 8$ нс (длина волны и длительность сцинтилляций зависит от типа пластика). Поскольку сцинтиллятор из галогенидов серебра имеет в несколько раз более высокую плотность ($6,4$ г/см³) в сравнении с плотностью пластика и в 6–7 раз бо-

лее высокий эффективный атомный номер, чем у пластика, поэтому гамма-кванты регистрируются в основном неорганическим сцинтиллятором на основе AgCl-AgBr . Предлагаемое устройство регистрирует как быстрые, так и медленные нейтроны следующим образом. Быстрые нейтроны регистрируются пластиком, создавая в нем протоны отдачи, которые вызывают в пластиковом световоде сцинтилляции – световые вспышки с последующей регистрацией с помощью ФЭУ. Нейтроны, проходя через пластик и чехол, теряют свою энергию, замедляются, переходят в разряд тепловых и эффективно взаимодействуют с ядрами серебра, вступая в реакцию (n, γ) , поскольку серебро имеет большой резонансный пик для реакции (n, γ) . Так для ^{109}Ag , например, резонансные интегралы равны 1377,2 и 1450 барн (Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений / В. П. Машкович, Л. В. Кудрявцева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 494 с) при сечении взаимодействия $\sigma = 86,3$ барн. Эффективность регистрации тепловых нейтронов повышается при введении в качестве активированной добавки европия (для естественной смеси изотопов европия $\sigma = 4600$ барн). В результате (n, γ) реакции образуются гамма-кванты, которые вызывают сцинтилляции в световоде из галогенидов серебра и в световоде из пластика (но с гораздо меньшей вероятностью), гамма-сцинтилляции регистрируются ФЭУ и далее блоком электронной обработки сигналов.

Для предлагаемого сцинтилляционного детектора характерна повышенная чувствительность к нейтрину из-за больших возможных объемов контроля при глубоководных измерениях в экспериментах типа DUMAND и подобных им, использующих реакцию $\nu + {}^1_1\text{H}^1 \rightarrow$ (позитрон + нейтрон), поскольку предлагаемый детектор обеспечивает регистрацию и нейтрона, и позитрона с помощью датчика, выполненного в виде радиально-лучистой или сетчатой системы из сцинтилляционного кабеля, своеобразной «оптической антенны» при одновременной классической регистрации продуктов реакции (позитрона) по его черенковскому излучению непосредственно фотокатодом ФЭУ с полусферическим окном. В экспериментах с IBM детектором в США и в экспериментах DUMAND на Байкале используют до 5 тысяч таких фотоумножителей, а в экспериментах в Канаде – до 10 тысяч. Использование таких фотоумножителей в сочетании с системами оптических антенн повышает эффективность регистрации нейтрино.

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного детектора является возможность точного определения местоположения источника РВ при придании выносному концу сцинтилляционного кабеля – шупа кольцевую форму (радиус порядка 10 см), поддерживаемую штангой-держателем. При накрывании источника РВ кольцом из сцинтилляционного кабеля скорость счета в блоке обработки сигналов будет максимальной. В этом случае работа устройства напоминает работу миноискателя, с тем отличием, что кольцо-детектор обнаруживает источник РВ.

Формула изобретения

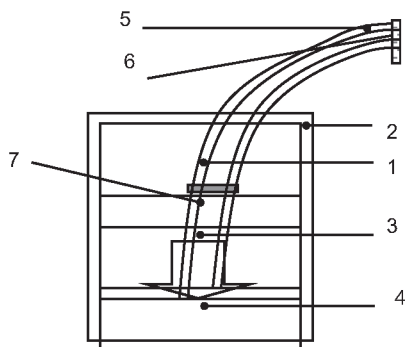
1. Сцинтилляционный детектор нейтронного и гамма-излучения, содержащий датчик из комбинированного сцинтиллятора, в состав которого входит сцинтиллятор из водородсодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$, сцинтиллятор на основе неорганического вещества, фотоэлектронный умножитель и блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что комбинированный сцинтиллятор датчика выполнен в виде сцинтилляционного волоконно-оптического кабеля, состоящего из чехла-оболочки и витой пары или набора нескольких витых пар из длинных волоконно-оптических нитеподобных сцинтилляторов-световодов, при этом неорганический сцинтиллятор, изготовленный из галогенидов серебра (AgCl-AgBr) с активными добавками, чувствителен к гамма-излучению и замедленным нейтронам, а органический сцинтиллятор-пластик чувствителен к быстрым нейтронам, причем выносной конец сцинтилляционного кабеля каждой витой пары сцинтилляторов-световодов снабжен отражателем света, а

другой контактный конец сцинтилляционного кабеля оптически соединен с фотоэлектронным умножителем.

2. Сцинтилляционный детектор по п. 1, отличающийся тем, что фотоэлектронный умножитель и контактные концы сцинтиллятора помещены в единый корпус, непрозрачный при наземных измерениях нейтронов и гамма-излучения и прозрачный при глубоководных измерениях нейтрино.

3. Сцинтилляционный детектор по п. 1, отличающийся тем, что датчик сцинтилляционного детектора для наземных измерений выполнен в виде гибкого длинного одиночного сцинтилляционного кабеля-щупа из одной или нескольких витых пар с непрозрачным чехлом-оболочкой и снабжен дополнительно гибким тросом и штангой-держателем.

4. Сцинтилляционный детектор по п. 1, отличающийся тем, что датчик сцинтилляционного детектора для глубоководных измерений нейтрино состоит из набора сцинтилляционных кабелей с прозрачными чехлами и выполнен в виде радиально-лучистой или сетчатой системы, образующей распределенную в водном пространстве (объеме) «оптическую антенну».



Фиг. 1

Патент № 2199607 РФ. Способ обработки циркониевых сплавов /
А. В. Матвеев, Т. А. Белых, В. И. Перехожев, Л. П. Синельников,
А. В. Кружалов, Ф. Г. Нешов, А. Г. Трифанов. Заявл. 07.07.2000;
опубл. 27.02.2003.

Реферат

Изобретение относится к области защиты от термической коррозии изделий, применяемых в ядерной энергетике, в частности труб технологических каналов и оболочек тепловыделяющих элементов, и направлено на повышение коррозионной стойкости. Изделие из циркониевого сплава подвергают термической обработке, формируют на поверхности любым способом пленку диоксида циркония, не содержащую сквозных пор и микротрещин, затем в пленку внедряют один из химических элементов начиная с пятой группы и выше. Ионное внедрение осуществляют при энергии, обеспечивающей длину пробега пучка ионов не более толщины оксидной пленки.

Описание изобретения

Область техники, к которой относится данное изобретение, - ядерная энергетика. Из циркониевых сплавов изготавливают следующие изделия (Займовский А. С. Циркониевые сплавы в атомной энергетике / А. С. Займовский, А. В. Никулина, Н. Г. Решетников. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с. С. 38): особо тонкостенные трубы для оболочек твэлов, тонкостенные трубы для каналов водоводяных и кипящих реакторов; прутки для пробок-заглушек твэлов и прутки больших диаметров для массивных концевых изделий кассет-сборок; листы для изготовления кожухов кассет и каландровых труб; листы и ленты для дистанционирующих решеток и других деталей кассет; проволоку для тех же целей, прутки и трубы разных размеров для крепления и подвески твэлов в кассетах сборках, а также другие детали, находящиеся в активной зоне реактора. Все эти элементы контактируют либо с водным теплоносителем при температуре 265 – 288°C (Прочность труб технологических каналов / Б. А. Родченков [и др.] // Вопросы атомной науки и техники, серия: Материаловедение и новые материалы. 1990. Вып.2(36). С. 14–21. С. 14, 15), либо с газовым – азотно-гелиевая смесь с примесью CO, CO₂, H₂O (Займовский А. С. Циркониевые сплавы в атомной энергетике / А. С. Займовский, А. В. Никулина, Н. Г. Решетников. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с. С. 49), и подвергаются высокотемпературной, в дальнейшем термической коррозии.

Термическая коррозия циркониевых сплавов характеризуется следующими факторами (Займовский А. С. Циркониевые сплавы в атомной энергетике / А. С. Займовский, А. В. Никулина, Н. Г. Решетников. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с. С. 149). На поверхности оксидной пленки происходит адсорбция молекул окислителя (воды, окислительные компоненты примеси газовой атмосферы, такие как O₂, CO, CO₂ и т. д.), которые, захватывая электроны, образуют ионы кислорода (и водорода в случае взаимодействия с водой). Ионы кислорода диффундируют под действием градиента электрохимического потенциала к границе раздела фаз металл – оксид, электроны – в противоположном направлении (Кофстад П. Высокотемпературное окисление металлов / П. Кофстад. М.: Мир, 1969. 392 с. С. 140), в результате чего на границе раздела металл - оксид происходит образование молекул ZrO₂ и достраивание т.о. оксидного слоя.

Образующаяся оксидная пленка состоит, в основном, из моноклинной двуокиси циркония и является достаточно плотной и хорошо сцепленной с поверхностью металла. Кинетика окисления циркония и его сплавов не подчиняется какому-либо одному закону, вернее, не может быть описана одним кинетическим уравнением. Начальный период окисления обычно описывается параболическим уравнением, выражающим тот факт, что скорость роста пленки обратно пропорциональна ее толщине. Теоретически это отвечает вышеупомянутой (Кофстад П. Высокотемпературное окисление металлов /

П. Кофстад. М.: Мир, 1969. 392 с.) диффузии кислорода сквозь решетку диоксида циркония по анионным вакансиям. Математическое выражение параболического закона: $\Delta m = c_1 t^{0,5}$, где Δm – привес (увеличение массы на единицу площади); c_1 – константа параболического окисления; t – время. При достижении некоторой критической толщины пленки (зависящей от вида сплава, термической обработки, условий окислительной среды, температуры, облучения и т.д.) в кинетике коррозионного процесса наступает явление перелома или перехода к линейному закону. Уравнение кинетики принимает вид: $\Delta m = c_2 t$, где c_2 – константа линейного окисления. Пленка обнаруживает при этом микропоры разных размеров, продольные и поперечные микротрещины. Линейный характер кинетики объясняется тем, что пленка сохраняет прилегающий к поверхности металла тончайший слой, не поврежденный порами и трещинами, диоксида циркония. Этот барьерный слой постоянен по толщине, поэтому и постоянен поток ионов кислорода, поступающих к границе металл – оксид, а следовательно, и скорость окисления при линейной кинетике.

В допереломный период окисления пленка хорошо сцеплена с металлом, черного цвета, блестящая, гладкая. Ей свойственны высокие защитные свойства. Такая защитная пленка является достехиометричной. Ее формула ZrO_{2-x} , где $x \leq 0,05$. При переломе цвет пленки становится серым, затем по мере увеличения толщины белым. Пленка этого вида является стехиометричной, она становится рыхлой, осыпающейся. Эту стадию коррозии называют разрушением.

Известен традиционный способ повышения коррозионной стойкости циркониевых сплавов (Займовский А. С. Циркониевые сплавы в атомной энергетике / А. С. Займовский, А. В. Никулина, Н. Г. Решетников. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с. С. 84, 85], аналог, заключающийся в том, что изделия из циркониевого сплава (например, трубы 82,7×6,5 мм из сплава циркалой-2) подвергают определенной технологической обработке - в данном случае холодной прокатке, а затем создают оксидную пленку на поверхности изделия, например, путем автоклавирования. При этой процедуре сформированная оксидная пленка отвечает допереломной стадии кинетики. Это заключение следует из того, что после коррозионных испытаний образцов труб в паре при 400°C в течение 72 ч (стандартная процедура автоклавирования) образец имеет однородную черную блестящую оксидную пленку и привес не более 22 мг/дм² (толщина пленки соответствующая 1,5 мкм) для нагартованных труб из циркалой-2 и сплава Н-2,5 (Zr-2,5%Nb).

Недостаток данного способа заключается в том, что при формировании таким образом защитной оксидной пленки коррозионная стойкость термообработанных труб ухудшается: привес достигает 35, а не 22 мг/дм² (толщина пленки соответственно 2 мкм) для термообработанного сплава Н-2,5 (Займовский А. С. Циркониевые сплавы в атомной энергетике / А. С. Займовский, А. В. Никулина, Н. Г. Решетников. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с. С. 90), а это ускоряет наступление перелома в кинетике и тем самым повышает скорость окисления, как показано в работе (Коррозия сплава Zr-2,5%Nb в газовой среде / В. И. Перехожев [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы. 1990. Вып. 2(36). С. 33 – 38).

Наиболее близким техническим решением для предлагаемого изобретения, взятым за прототип, является «способ изготовления деталей из сплава циркония для атомных реакторов» (Заявка 3-71507 Япония. Оpubл.: РЖ - Изобретения стран мира. 1993, 4, вып. 49. С. 27). Способ основан на известном принципе поверхностной химико-термической обработки, во многих случаях улучшающей эррозионную и коррозионную стойкость сплавов. Способ заключается в том, что: 1) деталь подвергают конечной пластической обработке; 2) на ее поверхности формируют покрытие толщиной 0,1-0,01 мкм, осаждавая из газовой фазы один или более элементов 5 и/или 6 группы; 3) после формирования покрытия на подложке из сплава циркония ее подвергают диффузионной обработке в неактивной среде с целью диффузии элемента, образующего покрытие, в

сплав циркония; 4) сплав циркония с покрытием обрабатывают высокотемпературным водяным паром с целью формирования оксидного покрытия.

Во-первых, недостаток данного способа заключается в том, что процедура реализации способа достаточно сложна - она насчитывает четыре технологические стадии.

Во-вторых, недостаток данного способа заключается в том, что после формирования покрытия на подложке из сплава циркония ее подвергают диффузионной обработке в неактивной среде с целью диффузии элементов, из которого образовано покрытие. В этом случае неявно предполагается термическая обработка, включающая выдержку изделия в течение определенного промежутка времени при определенной температуре. Однако при такого рода процедуре происходит изменение структуры, фазового состава сплава и возможно ухудшение как механических, так и коррозионных свойств. Режим термической обработки - температура отжига и длительность выдержки циркониевых изделий строго регламентированы техническими условиями на изделие и не может изменяться произвольно. Так, например, для канальных труб из сплава Zr-2,5%Nb для реакторов РБМК допустимы исключительно три режима термической обработки (Технология изготовления труб из сплава Zr-2,5%Nb, установленных в реакторах РБМК / А. В. Никулина [и др.] // Вопросы атомной науки и техники, серия: Материаловедение и новые материалы. 1990. Вып. 2(36). С. 48): отжиг 540°C – 5 ч (отожненное состояние, так называемое штатное); старение при 515°C – 24 ч (ТМО-1) и старение при 530 – 540°C – 24 ч (ТМО-2).

Однако из прототипа не следует, что при данных конкретных режимах отжига происходит диффузионное растворение покрытия, а значит, технический результат - повышение коррозионной стойкости изделий при штатных режимах термообработки в этом случае недостижим.

Технический результат, получаемый при реализации предлагаемого изобретения, состоит, во-первых, в упрощении способа - исключается, как минимум, одна технологическая стадия, а именно - диффузионная обработка покрытия в неактивной среде с целью диффузии элемента в циркониевый сплав, а во-вторых, в повышении коррозионной стойкости изделий из циркониевого сплава, уже подвергнутых термомеханической обработке.

Указанный технический результат достигается тем, что (1) изделие из циркониевого сплава подвергают термомеханической обработке, формируют любым способом на поверхности изделия оксидную пленку этого же сплава, отличающийся тем, что в оксидную пленку путем ионного внедрения вводят ионы одного из элементов пятой группы или выше, причем указанное внедрение осуществляют при энергии, обеспечивающей длину пробега пучка ионов предпочтительно не более толщины оксидной пленки; (2) способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве ионов внедрения используют ионы азота начиная с флюенса 10^{15} см⁻² и выше.

В описанном выше способе ионному внедрению подвергается не сам металл, а уже сформированная на его поверхности оксидная пленка. Ионным легированием уже сформированной на поверхности металла оксидной пленки можно уменьшить скорость реакции образования оксида, т.е. повысить коррозионную стойкость металла.

В подтверждение сказанного приведем известные аргументы. При окислении металла по реакции:



в случае диффузии реагентов через слой образующейся оксидной фазы константа скорости реакции имеет вид (Ковтуненко П. В. Физическая химия твердого тела / П. В. Ковтуненко. М: Высшая школа, 1993. 352 с. С. 293 (ф.9.83)):

$$K = \frac{RT}{8be^2} \int_{P_{in}}^{P_{ex}} \sigma_s t_{el} t_{ion} d \ln P_{O_2} \quad (2)$$

где R – газовая постоянная; T – температура; b – стехиометрический коэффициент; e – заряд электрона; σ_s – суммарная ионная и электронная составляющие электропроводности оксидной фазы; t_{el} – число переноса электронов и дырок оксидной фазы; t_{ion} – число переноса анионов и катионов оксидной фазы; P_{in} – давление кислорода на границе оксид – металл («внутреннее»); P_{ex} – давление кислорода на границе оксид – газовая фаза («наружное»).

Кинетикой гетерогенной реакции (1) можно управлять за счет введения примесей в продукт реакции. Действительно, как показано (Ковтуненко П. В. Физическая химия твердого тела / П. В. Ковтуненко. М: Высшая школа, 1993. 352 с. С. 313), введение катионной примеси с валентностью меньшей, чем валентность основного металла, приводит к уменьшению константы скорости реакции окисления, если стехиометрия продукта реакции нарушена в сторону избытка неметалла – в данном случае кислорода. Введение в продукт реакции ионов посторонней примеси с валентностью большей, чем валентность иона металла, приводит также к уменьшению константы скорости реакции окисления, если стехиометрия продукта реакции нарушена в сторону избытка металла. В этом случае константа окисления (2) преобразуется к виду (Ковтуненко П. В. Физическая химия твердого тела / П. В. Ковтуненко. М: Высшая школа, 1993. 352 с. С. 313 (ф.9.165)):

$$K_A = \frac{v_0^0 k_{vO} \dots}{4bx \frac{Z}{MeM} \dots} \left[P^{-\frac{1}{Z}} - P^{-\frac{1}{Z}} \right] \quad (3)$$

$$\left(m - \frac{1}{Z} \right) \quad \left(m + \frac{1}{Z} \right)$$

где: v_0 – параметр, входящий в выражение для коэффициента диффузии кислорода;

$k_{vO} \dots$ – константа равновесия квазиреакции образования кислородных вакансий; $\bar{x}_{MeM} \dots$ –

$$P^{-\frac{1}{Z}} \quad , \quad P^{-\frac{1}{Z}} \quad -$$

$$\left(m - \frac{1}{Z} \right) \quad \left(m + \frac{1}{Z} \right)$$

концентрация примеси в оксидной фазе; – соответствующее давление кислорода соответственно в слое оксида с нарушением стехиометрии и в слое с посторонней примесью.

Как видим, действительно в случае механизма переноса частиц по анионным вакансиям, т. е. когда стехиометрия растущей оксидной фазы нарушена в сторону избытка катионов – как это имеет место в случае коррозионной пленки на цирконии, введение в оксидную фазу примесного катиона с большей степенью окисления приводит к быстрому затуханию этого механизма – величина k_A обратно пропорциональна квадрату концентрации посторонней примеси.

Чтобы достичь более заметного эффекта уменьшения скорости окисления, необходимо легировать оксидную пленку, отвечающую стадии допереломного окисления.

В этом случае, как сказано выше, пленка является плотной, хорошо сцепленной с металлом, не содержит пор и микротрещин, а диффузия кислорода через нее происходит исключительно в виде ионов. Когда же легированию подвергается пленка, отвечающая послепереломной стадии окисления, эффект уменьшения скорости окисления будет менее заметным, что связано с диффузией кислорода не в ионном, а преимущественно в атомарном виде по порам и микротрещинам в пленке.

Способ обработки циркониевых сплавов заключается в следующем. Изделие подвергают отжигу. Затем на изделии формируют пленку диоксида циркония. Уже после

этого в полученную пленку ионным внедрением вводят один из элементов начиная с 5 группы и выше.

Пример осуществления описываемого способа.

1. Брали трубу с заводским номером 1587 из сплава Zr-2,5% Nb после заключительной термомеханической обработки 2 (ТМО-2), применяемой при изготовлении труб технологических каналов второго блока Игналинской АЭС. Данная обработка заключается в том, что трубу подвергают охлаждению из высокотемпературной области в смеси гелия и аргона, прокатке на размер 88×4 мм и старению при температуре 530 – 540°С в течение 24 часов. Труба после такой обработки характеризуется более низкой по сравнению со штатной обработкой скоростью радиационной ползучести, но в то же время более высокой скоростью окисления.

2. Затем на образцах заданных размеров, вырезанных из трубы, сформировали оксидные пленки путем термического окисления на воздухе при температуре 400°С, отвечающие различным кинетическим стадиям и обладающие соответственно различными защитными свойствами.

Коррозионные испытания проводили в печи электросопротивления в атмосфере воздуха при температуре 400°С. Точность поддержания температуры составляла $\pm 2^\circ\text{C}$ и осуществлялась блоком регулировки Ш-4531. Контроль температуры осуществлялся термоэлектрическим преобразователем типа хромель-алюмель, термо э.д.с. которого измеряли универсальным вольтметром Ш-68003. Показателем скорости коррозии служил либо привес – увеличение массы окислившегося образца, отнесенный к единице площади ($\text{мг}/\text{см}^2$), либо толщина пленки сформировавшегося оксида, либо цвет оксидной пленки. В первом случае образцы взвешивали на лабораторных весах ВЛР-20 с чувствительностью 0,005 мг. Во втором случае исследовали фотографическое изображение поперечного металлографического шлифа, полученное с помощью металлографического микроскопа при увеличении 160 крат. В третьем случае использовали аппарат макросъемки типа ФМН-2.

Кинетическая кривая окисления образцов представлена на фиг. 1. Как видно из чертежа, это типичная кривая окисления циркониевых сплавов и она характеризуется наличием двух участков. Первый из них отвечает допереломной стадии окисления, когда скорость роста оксидной пленки уменьшается с течением времени. Второй участок отвечает послепереломной стадии, когда скорость роста оксидной пленки не зависит от времени. Экспериментальные точки увеличения массы на единицу площади ($\text{мг}/\text{дм}^2$) от длительности окисления хорошо интерполируются зависимостями:

$$\begin{cases} z = a\tau^n, & \text{где } \tau < \tau_{\text{пер}} \\ z = b + K_{\text{л}}\tau, & \text{где } \tau > \tau_{\text{пер}} \end{cases} \quad (4)$$

Вычисленные значения коэффициентов уравнений и показателя степени следующие: $a = 3,1117 \text{ мг}/\text{дм}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{н}$; $b = -28,6119 \text{ мг}/\text{дм}^2$; $K_{\text{л}} = 0,573 \text{ мг}/\text{дм}^2 \cdot \text{ч}$; $n = 0,599$. Как видно из этих данных, кинетика окисления на допереломной стадии близка к параболической, а на послепереломной – к линейной. Координаты точки пересечения находятся из решения системы уравнений (4). При $\tau = \tau_{\text{пер}}$ левые части уравнений системы равны, соответственно получаем следующее уравнение относительно $\tau_{\text{пер}}$:

$$a\tau_{\text{пер}}^n - b - K_{\text{л}}\tau_{\text{пер}} = 0. \quad (5)$$

Решая данное уравнение численными методами, получаем: $\tau_{\text{пер}} = 164 \text{ ч}$, $Z_{\text{пер}} = 65,4 \text{ мг}/\text{дм}^2$. С учетом этих данных послепереломную стадию кинетики окисления можно описать следующим уравнением:

$$Z = Z_{\text{пер}} + K_{\text{л}}(\tau - \tau_{\text{пер}}) \quad (6)$$

где параметр $K_{\text{л}}$ – есть константа линейного окисления; $Z_{\text{пер}}$ – увеличение массы на единицу площади в момент перелома.

Внешний вид полученных при окислении образцов оксидных пленок также типичен. На допереломной стадии сформировались оксидные пленки черного цвета (фиг. 2, а), на послепереломной – светло-серого (фиг. 2, б).

3. В поверхностный слой испытываемых образцов осуществили ионное внедрение. В качестве легирующей примеси использовали азот – элемент 5 группы. Поскольку электроотрицательность азота меньше электроотрицательности кислорода (3 и 3,5 усл. ед. соответственно), то тенденция к принятию электрона кислородом выше, чем азотом, следовательно, азот может рассматриваться как донор электронов. Ионному внедрению подвергались образцы в количестве 3 штук на каждую точку, отвечающие разным стадиям окисления на кинетической кривой: $\tau_0 = 0$ – чистый металл, $\tau_1 = 42,5$ ч (привес 32 мг/дм^2 – толщина пленки оксида $2,2 \text{ мкм}$ – допереломная стадия, пленка не содержит сквозных пор или микротрещин) и $\tau_3 = 397$ ч (привес 200 мг/дм^2 – толщина пленки оксида 13 мкм – послепереломная стадия, пленка содержит сквозные поры и микротрещины).

Ионное внедрение осуществлялось на циклотроне Р-7М Уральского государственного технического университета. Энергия ионов азота выбиралась такой величины, чтобы длина пробега пучка ионов не превышала толщину сформированной оксидной пленки. В этом случае все ионы локализовывались в сформированной оксидной пленке. Из этих соображений ионы ускорялись до энергии, равной $3,8 \text{ МэВ}$, ток пучка на пробнике был порядка $15 - 20 \text{ мкА}$. Разброс частиц в пучке по энергии составил около $0,5$. Конструкция установки приведена на фиг. 3. Пучок ионов сканируется системой магнитов (4) и попадает в экспериментальную камеру (1) на образец (2), расположенный на медном водоохлаждаемом держателе (3), и частично попадает в цилиндр Фарадея (4). Распределение концентрации внедренных ионов по глубине оксидной пленки изображено на фиг. 4. Как следует из графика, легирующая примесь – азот целиком локализована в оксидной фазе. Профиль построен на основании алгоритма расчетов, приведенных в работе (Пространственные распределения энергии, выделенной в каскаде атомных столкновений в твердых телах / А. Ф. Буренков [и др.]. М.: Энергоиздат, 1985. 248 с).

На фиг. 5 изображен внешний вид образцов с оксидными пленками исходной толщиной $2,2 \text{ мкм}$, подвергнутые затем ионному внедрению до различных флюенсов: а) 10^{14} , б) 10^{15} , в) 10^{16} см^2 и последующему доокислению до ресурса 400 часов (флюенс – это отношение числа ионизирующих частиц, проникающих в объем элементарной сферы, к площади поперечного сечения этой сферы, см. например (Першенков В. С. Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных микросхем / В. С. Першенков, В. Д. Попов, А. В. Шальнов. М.: Энергоиздат, 1988. 255с. С. 12). Как видно из фиг. 5, а, при первом значении флюенса внедренные ионы не оказывают замедляющего влияния на кинетику окисления: вся поверхность пленки однородна по цвету. При последующих значениях флюенса наблюдается отчетливо выраженный эффект: подвергнутая ионному внедрению область сохраняет черный цвет, характерный для допереломной стадии окисления, резко контрастируя с контрольной поверхностью белого цвета, характерной для послепереломного окисления (фиг. 5, б, в). На фиг. 6 представлены изображения металлографических шлифов образцов, приведенных выше соответственно на фиг. 5б и 5в. На шлифе отчетливо проявляется граница раздела области внедрения ионов (1) и контрольной области (2). Толщины оксидных пленок на поверхности после ионного внедрения по меньшей мере в три раза меньше, чем на контрольной поверхности.

На фиг. 7 изображен внешний вид оксидной пленки образца, окисленного до ресурса 400 ч при тех же самых условиях, но на котором ионное внедрение осуществлялось не в оксидную пленку, а непосредственно в матрицу сплава до образования оксида. Внешне область внедрения не выделяется. Привес за это время составил 186 мг/дм^2 , что лишь 10% меньше по сравнению с привесом контрольных образцов (см. фиг. 1).

При внедрении ионов в оксидную пленку, сформированную на стадии послепереломного окисления, константа окисления составила $0,461 \text{ мг/дм}^2$, (см. фиг. 1, кривая 3), что лишь на 20% меньше соответствующего значения для контрольных образцов, как сообщалось выше.

Формула изобретения

1. Способ обработки циркониевых сплавов, заключающийся в том, что изделие из циркониевого сплава подвергают термомеханической обработке, формируют любым способом на поверхности изделия оксидную пленку этого же сплава, отличающийся тем, что в оксидную пленку путем ионного внедрения вводят ионы одного из элементов пятой группы или выше, причем указанное внедрение осуществляют при энергии, обеспечивающей длину пробега пучка ионов предпочтительно не более толщины оксидной пленки.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве ионов внедрения используют ионы азота, начиная с флюенса 10^{15} см^{-2} и выше.

Патент № 2231809 РФ Детектор нейтронного и гамма-излучений / О. В. Игнатьев, Б. В. Шульгин, А. Д. Пулин, В. Л. Петров, Д. Б. Шульгин, Д. В. Райков, А. А. Пулин. Заявл. 01.07.2002; опубл. 27.06.2004. Бюл. № 18.

Реферат

Использование: для дозиметрической и таможенной практики, для решения задач Госатомнадзора и служб ядерной безопасности, для комплексов и систем специального радиационного технического контроля и радиационного мониторинга территорий и акваторий, для обнаружения и идентификации делящихся материалов. Сущность: детектор содержит три датчика, которые служат для регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, а также для регистрации гамма-излучения. Датчики размещены в едином корпусе. В качестве датчиков используются PIN-сенсорные элементы, которые помещены в чехлы из борсодержащего радиатора-конвертора нейтронов, изготовленные из карбида или нитрида бора. Первый и второй датчики содержат замедлители в виде слоев водородсодержащего материала, причем форма вышеупомянутых замедлителей и форма вышеупомянутых радиаторов-конверторов имеет переменное сечение. Технический результат: повышение точности регистрации гамма-излучения, расширение диапазона измерений.

Описание изобретения

Изобретение относится к области детектирования источников нейтронного и мягкого гамма-излучения, особо источников нейтронов на фоне гамма-излучения, и предназначено для дозиметрической таможенной практики, для решения задач Госатомнадзора, для комплексов и систем специального радиационного технического контроля, для обнаружения и идентификации делящихся материалов (ДМ – урана, плутония, кюрия, калифорния и изделий из них) для обнаружения и идентификации ряда радиоактивных веществ (РВ), обладающих мягким гамма-спектром.

Известные детекторы ядерных излучений содержат, как правило, блок датчиков и блок электронной обработки сигналов (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Пат. 4483808 США; Пат. 2142147 РФ; Пат. 3688118 США; Заявка 0311503 ЕВП (ЕР); Пат. 4482808 США; Пат. 2088952 РФ; Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с). В известных детекторах блок датчиков содержит сцинтилляционный кристалл, а в качестве сенсорного элемента блока датчиков, в качестве фотоприемника – фотоэлектронный умножитель или фотодиод. Однако детекторы не пригодны для регистрации нейтронов, поскольку они не содержат элементов, чувствительных к нейтронам.

Известен сцинтилляционный детектор гамма- и нейтронного излучения (Пат. 2142147 РФ), содержащий блок датчиков, включающий сцинтилляционный кристалл, например $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ или стильбен, сместитель спектра (в виде тонкой сцинтиллирующей пленки или кристалла) и кремниевый PIN-фотодиод в качестве сенсорного элемента датчика, а также блок электронной обработки сигналов. Однако такой детектор не предназначен для одновременной регистрации нейтронного и гамма-излучения. Если в качестве сцинтилляционного в блоке датчика используют кристалл $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$, то последний будет регистрировать только гамма-кванты и не будет регистрировать нейтроны. Если в датчике в качестве сцинтилляционного используют кристалл стильбена, то последний будет регистрировать в основном нейтроны. Однако такой детектор не является всеволновым детектором нейтронов, поскольку он способен регистрировать только быстрые нейтроны по протонам отдачи.

Известен детектор нейтронов (Пат. 3688118 США), содержащий блок из двух датчиков, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, в то время

как второй чувствителен только к заряженным частицам; число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом этих датчиков. Однако такой детектор не является всеволновым нейтронным детектором. Возможность его применения для регистрации и спектрометрии гамма-излучения в Пат. 3688118 США не оговорена.

Известный детектор нескольких излучений (Заявка 0311503 ЕВП (ЕР)) имеет блок датчиков, включающий два сцинтилляционных кристалла, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой – к низкоэнергетическому, и два сенсорных элемента – фотодиода, выделяющих нужные сигналы с помощью светофильтра и регистрирующий их с помощью блока электронной обработки сигналов. Однако известный детектор пригоден только для регистрации рентгеновского излучения, он не пригоден для регистрации нейтронов.

Известен детектор быстрых нейтронов и гамма-лучей (Пат. 4482808 США), содержащий сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-излучению, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя схему селекции для разделения сигналов от нейтронов и гамма-излучения. Однако известный детектор не является всеволновым детектором нейтронов, он не пригоден для спектрометрии мягкого гамма-излучения.

Известен детектор быстрых нейтронов и гамма-излучения (Пат. 2088952 РФ), содержащий блок датчиков и блок электронной обработки сигналов. Блок датчиков детектора (Пат. 2088952 РФ) выполнен в виде последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (регистрирующего гамма-излучение) и световода, выполненного из стибьена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, и фотоэлектронного умножителя в качестве сенсорного элемента. Однако известный детектор не является всеволновым детектором нейтронов, поскольку он чувствителен только к быстрым нейтронам, он не пригоден для регистрации тепловых и медленных нейтронов. Из-за плохого энергетического разрешения кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (15 – 20 %) детектор не пригоден для надежной спектрометрии мягкого гамма-излучения. Кроме того, из-за использования фотоэлектронного умножителя в качестве фотоприемника датчик детектора имеет большие габариты, т. е. не является компактным.

Известен сцинтилляционный (n, γ)-детектор (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с) блок датчика которого сцинтиллятор NaI:Tl , окруженный чехлом из серебра. Серебро эффективно поглощает нейтроны резонансных энергий, в результате чего имеет место реакция (n, γ). Продуктом этой реакции являются γ -кванты, которые регистрируются сцинтилляционным кристаллом NaI:Tl . Однако такой детектор не может регистрировать быстрые нейтроны, поскольку (n, γ)-резонансные реакции имеют высокое сечение только для медленных и промежуточных нейтронов. Кроме того, стоимость детектора оказывается высокой из-за высокой стоимости серебра.

Наиболее близким к заявляемому является детектор нейтронного и гамма-излучения (Решение о выдаче патента РФ на изобретение «Сцинтилляционный детектор нейтронного и гамма-излучения», № 2000128441 от 13.11.2000, кл. G 01 T 1/20, 3/00). Известный детектор содержит блок датчиков и блок электронной обработки сигналов. Блок датчиков выполнен в виде двух параллельно соединенных сцинтилляторов: внешнего нейтронного сцинтиллятора из чувствительного к быстрым нейтронам органического вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стибьена (внешний сцинтиллятор с колодцем) с чехлом из нитрида или карбида бора, и размещенного в нем (в колодце) внутреннего чувствительного к гамма-излучению сцинтиллятора NaI:Tl в стандартном контейнере и в чехле из нитрида или карбида бора (естественная смесь изотопов бора или изотоп ^{10}B), чувствительного к тепловым нейтронам; датчик включает в себя также фотоэлектронный умножитель в качестве сенсорного фотоприемника. Детектор содержит также блок электронной обработки сигналов, включающий схему временной селекции

сцинтимпульсов от органического внешнего и неорганического внутреннего сцинтилляторов, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от гамма сцинтилляционного кристалла NaI:Tl, регистрирующего гамма-излучение. Известный детектор, наряду с регистрацией быстрых нейтронов органическим сцинтиллятором, обеспечивает эффективную регистрацию медленных нейтронов по реакции (n, α) с помощью чехлов из борсодержащего материала. Известный детектор, наряду с регистрацией нейтронов, обеспечивает регистрацию гамма-излучения в спектрометрическом режиме с энергетическим разрешением 6 – 8 % (лучшее для сцинтилляционных кристаллов). Однако энергетическое разрешение блока датчиков известного детектора (Решение о выдаче патента РФ на изобретение «Сцинтилляционный детектор нейтронного и гамма-излучения», № 2000128441 от 13.11.2000, кл. G 01 T 1/20, 3/00) оказывается низким в сравнении с таковым для ППД-спектрометров, для которых величина разрешения составляет доли процента. Кроме того, датчик детектора обладает большими габаритами и весом, что обусловлено большими размерами, как самих сцинтилляционных кристаллов, так и фотоприемника, в качестве которого используют фотоэлектронный умножитель.

Предлагаемое устройство обладает на порядок меньшими габаритами и весом, не уступает ближайшему аналогу по эффективности регистрации тепловых нейтронов по (n, α)-реакции, является всеволновым детектором нейтронов, поскольку регистрирует не только быстрые и тепловые нейтроны, но и нейтроны промежуточных энергий и, кроме того, оно обладает на порядок более высоким энергетическим разрешением при регистрации гамма излучения в диапазоне энергий до 1,5 МэВ.

Блок-схема заявляемого устройства приведена на фиг. 1. Устройство содержит три датчика 1, 2 и 3 для регистрации быстрых промежуточных и тепловых нейтронов. Датчики размещены в едином корпусе 4. Сенсорными элементами датчиков служат PIN-сенсоры 5, 6 и 7. PIN-сенсоры помещены в чехлы 8, 9 и 10, из борсодержащего радиатора – преобразователя нейтронов из карбида или нитрида бора. Датчики 1 и 2, предназначенные для регистрации быстрых и промежуточных нейтронов, содержат замедлители 11 и 12 в виде слоев водородосодержащего материала. Датчик 3 предназначен для регистрации тепловых нейтронов, поэтому он не имеет замедлителя. Устройство содержит блок электронной обработки сигналов 13, который состоит из спектрометрического анализатора для выделения гамма-импульсов (n, α)-реакции и для спектрометрии регистрируемого гамма-излучения.

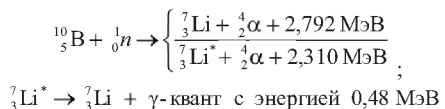
Сущность изобретения заключается в том, что предлагаемое устройство является всеволновым детектором нейтронов (блок датчиков), благодаря наличию трех датчиков, один из которых регистрирует быстрые, второй промежуточные и третий тепловые нейтроны. В качестве радиатора-конвертора нейтронов используют карбид или нитрид бора в виде чехлов с толщиной достаточной для полного поглощения тепловых нейтронов.

Тепловые нейтроны от обнаруживаемого источника ДМ регистрируются с помощью радиатора-конвертора нейтронов, выполненного в виде чехла 10 из борсодержащего материала и PIN-сенсора 7. В радиаторе-конверторе протекает (n, α)-реакция, PIN-сенсор регистрирует гамма излучение этой реакции с энергией 0,48 МэВ. Быстрые и промежуточные нейтроны от источника ДМ вначале замедляются до тепловых энергий замедлителями 11 и 12, а затем регистрируются как тепловые с помощью радиаторов-конверторов 8 и 9 и PIN-сенсорных регистраторов гамма-излучения, возникающего в следствие (n, α) реакции (0,48 МэВ, монолиния). Гамма-излучение источников ДМ, а это излучение широкого спектра, регистрируется с помощью трех PIN-сенсоров. Диапазон регистрируемого гамма-излучения определяется спектральной чувствительностью

PIN-сенсоров (диапазон от нескольких килоэлектрон-вольт до полутора мегаэлектрон-вольт).

Устройство работает в полях нейтронного и гамма-излучения с помощью блока датчиков, одновременно регистрирующих быстрые, промежуточные и тепловые нейтроны, а также регистрирующих гамма-излучение следующим образом. Вначале быстрые и промежуточные нейтроны замедляются в блоке датчиков с помощью замедлителей из водородосодержащего материала, – замедлителей 11 и 12 счетчиков 1 и 2 (фиг. 1) до тепловых энергий. Затем они поступают в преобразователь нейтронного излучения – в нейтронные радиаторы-конверторы 8 и 9. Тепловые нейтроны первичного спектра, включая фоновые тепловые нейтроны, поступают непосредственно в нейтронный радиатор-конвертор 10.

Радиаторы-конверторы 8, 9 и 10 блока датчиков выполнены в виде чехлов (с толщиной, достаточной для полного поглощения тепловых нейтронов ядрами ^{10}B), изготовленных из карбида или нитрида бора, – соединений, имеющих в своем составе ядра бора в виде естественной смеси изотопов (всегда содержащей значительный процент изотопа ^{10}B) или в виде изотопа ^{10}B . В первом случае эффективность захвата тепловых нейтронов (сечение захвата σ) составляет $\sigma = 767$ барн, а во втором $\sigma = 3837$ барн (Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений / В. П. Машкович, Л. В. Кудрявцева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 494 с). Вначале происходит захват тепловых нейтронов ядрами ^{10}B , что вызывает ядерную реакцию (n, $\alpha\gamma$)-типа, которая протекает в две стадии:



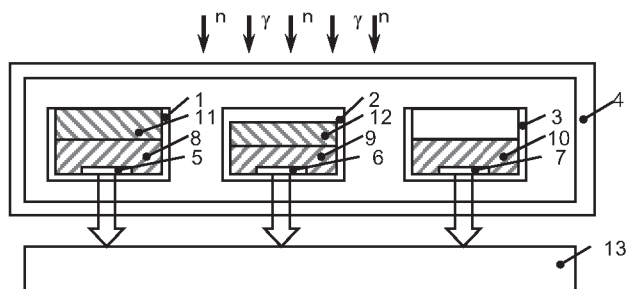
На первой стадии вследствие реакции (n, α) образуются ядра ^7Li и альфа-частица (последняя просто поглощается в чехле 7). Часть ядер образуется в возбужденном состоянии (Knoll G. F. Radiation Detection and Measurement / G. F. Knoll. N-Y.: John Wiley and Sons. 483 p). Они и обеспечивают протекание второй стадии реакции, которая состоит в том, что возбужденное ядро ^7Li переходит в основное состояние с испусканием гамма-кванта с энергией $\sim 0,48$ МэВ. Эти же гамма-кванты (n, α , γ -реакции регистрируются входящими в блок датчиков 1,2,3 PIN-сенсорами 5,6 и 7, сигналы с которых обрабатываются с помощью блока электронной обработки 13 (фиг. 1). Спектрометрический анализатор импульсов этого блока 13 легко выделяет все сигналы, связанные с гамма-квантами с энергией 0,48 МэВ на фоне любого сопутствующего спектра гамма-излучения и тем самым определяет число зарегистрированных нейтронов. Анализатор обеспечивает подсчет общего числа нейтронов, зарегистрированных как всеми тремя PIN-сенсорами, так и каждым в отдельности, определяя тем самым число быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов первичного спектра. Таким образом, предлагаемый детектор обеспечивает режим счета нейтронов и их спектрометрическое разделение на три группы: на быстрые, промежуточные и тепловые нейтроны.

Регистрация гамма-излучения, характерного для ДМ, осуществляется следующим образом. Первичные гамма-кванты от источников ДМ или радиоактивных веществ РВ (в отличие от вторичных гамма-квантов реакции (n, α , γ)) легко проникают через тонкие стенки корпуса детектора, через замедлители и радиаторы-конверторы каждого из датчиков 1, 2 и 3 и регистрируются непосредственно с помощью полупроводниковых PIN-сенсоров 5, 6 и 7. Сигналы с PIN-сенсоров поступают на блок электронной обработки сигналов. Спектрометрический тракт этого блока обеспечивает анализ спектров гамма-излучения источников РВ до 1,5 МэВ.

Дополнительными преимуществами предлагаемого изобретения являются: малые габариты и вес; дешевизна преобразователя нейтронов, дешевизна радиатора-конвертора, выполненного из нитрида или карбида бора; возможность простой модернизации детектора как путем увеличения числа блоков датчиков: вместо одного блока датчиков можно использовать несколько (2, 3 и более блоков); обеспечение первичной спектрометрии нейтронов: выделение быстрой, промежуточной и тепловой компоненты нейтронного спектра; обеспечение обнаружения источников РВ и их идентификация.

Формула изобретения

Детектор нейтронного и гамма-излучения, содержащий размещенный в корпусе датчик, включающий замедлитель нейтронов из водородсодержащего материала, радиатор-конвертор нейтронов в виде чехла из карбида или нитрида бора с толщиной, достаточной для полного поглощения тепловых нейтронов, сенсорный элемент и блок электронной обработки сигналов, включающий спектрометрический анализатор импульсов, отличающийся тем, что детектор дополнительно снабжен вторым и третьим датчиками, размещенными в том же корпусе, что и первый датчик, причем первый датчик оборудован замедлителем с толщиной, необходимой для замедления быстрых нейтронов сложного спектра до тепловых энергий, и радиатором-конвертором, второй датчик имеет замедлитель с толщиной, необходимой для замедления промежуточных нейтронов сложного спектра до тепловых энергий, и радиатором-конвертором, третий датчик имеет форму вышеупомянутых замедлителей и форму вышеупомянутых радиаторов-конверторов делают с переменным сечением, третий датчик содержит только радиатор-конвертор без замедлителя, а сенсорные элементы датчиков выполнены в виде PIN-сенсорных элементов, размещенных под радиаторами-конверторами нейтронов.



Фиг. 1

Патент № 2242024 РФ Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений / Л. В. Викторов, К. В. Ивановских, Ю. Г. Лазарев, В. Л. Петров, А. С. Шеин, Б. В. Шульгин. Заявл. 30.06.2003; опубл. 10.12.2004. Бюл. № 34.

Реферат

Использование: для радиационного контроля. Сущность: способ заключается в непрерывном измерении средней скорости счета аддитивной смеси сигнала и фона $n(T)$ в процессе движения детектирующей системы по обследуемой территории, обработки полученной измерительной информации и принятии решения о результате обнаружения, при этом среднюю скорость счета аддитивной смеси сигнала и фона $n(T)$ измеряют на участках времени экспозиции $T_{\text{эксп}}$, длительность каждого из которых одинакова и составляет предпочтительно $(8-15)T_c$, определяют значения средней скорости счета фона b , амплитуду предполагаемого сигнала a_m и положение сигнала на шкале времени T_m , после чего определяют величину параметра η , сравнивают η с порогом Q_0 , определяемым по заданной вероятности ложных тревог, причем решение об обнаружении искомого объекта принимают в случае, если $\eta > Q_0$. Технический результат – повышение чувствительности обнаружения излучения.

Описание изобретения

Заявляемый способ относится к области радиационного контроля с использованием ионизационных счетчиков (пропорциональных или счетчиков Гейгера), или сцинтилляционных детекторов и предназначен для поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений (ИИ), утерянных или преднамеренно спрятанных (в случаях незаконного захоронения радиоактивных отходов и т. п.). Заявляемый способ может применяться в носимых портативных или движущихся (например, автомобильных, вертолетных) устройствах радиационного контроля.

Известны способы поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений, используемые в портативных устройствах оперативного радиационного контроля (Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997.; Дозиметр-радиометр ДРБП-03. Паспорт ГКПС 14.00.00.000 ПС. М.: ВНИИФТРИ, 1996.; Радиометр-дозиметр МКС-06Н INSPECTOR. Паспорт. М.: ТОО «Грин Стар», 1996). Такие устройства представляют собой, как правило, портативные радиометры-дозиметры, в которые введены электронное пороговое устройство, и соответствующая звуковая и (или) световая сигнализация превышения порога. В упомянутых устройствах (системах) применяются различные счетные детекторы ионизирующих излучений (либо сцинтилляционные счетчики, либо ионизационные счетчики гамма- и нейтронного излучения).

Так, в одной из сравнительно новых разработок – дозиметре поискового типа ДРС-РМ1401 (Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997), построенном на базе сцинтилляционного счетчика с фотодиодом, используется простейший способ поиска и обнаружения, основанный на использовании постоянного (жестко устанавливаемого) порога обнаружения, зависящего от первоначально измеренного уровня фона, и сводящийся к следующей последовательности операций:

- перед началом контроля проверяемых объектов измеряют количество импульсов фонового излучения N_b за время $T_b = 36$ с;
- прибор переключают в режим оперативного контроля, т. е. измеряют количество импульсов излучения от контролируемого объекта N_0 , в течение интервала контроля T_n , (в дозиметре ДРС-РМ1401 $T_n = 2$ с); (величина N_0 пропорциональна средней скорости счета аддитивной смеси сигнала и фо-

на n , полученной за время T_n нахождения объекта контроля в поле зрения детектора – $N_0 = n \cdot T_n$);

- вычисляют порог $Q = bT_n + m\sigma$, где $\sigma = (N_b)^{1/2}$ – среднеквадратическое отклонение (с. к. о) величины N_b ; m – число, равное количеству с. к. о. (обычно устанавливают $m = 4$); $b = N_b/T_b$ – средняя скорость счета фона;
- полученное N_0 сравнивают с порогом Q ; если $N_0 > Q$, то принимают решение об обнаружении искомого источника (включают световой или звуковой сигнал «тревоги»); в противном случае принимают решение об отсутствии источника ИИ. В этом случае никаких сигналов не генерируют и поиск продолжают.

Основным недостатком описанного способа поиска и обнаружения (Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997) является жесткость задаваемых порогов для обнаружения источника ИИ, что не позволяет получить низкие пороги обнаружения при одновременном обеспечении допустимой (задаваемой) вероятности ложных тревог, и тем более не позволяет работать в условиях нестационарного фона.

Способ обнаружения, используемый в дозиметре-радиометре типа ДРБП-03 (Дозиметр-радиометр ДРБП-03. Паспорт ГКПС 14.00.00.000 ПС. М.: ВНИИФТРИ, 1996), построен на применении еще более жесткого порога обнаружения, чем используемый в дозиметре ДРС-РМ1401; в нем даже количество среднеквадратических отклонений (с. к. о) m не регулируется и всегда равно $m = 4$. Это приводит к необоснованному завышению порогов обнаружения и к увеличению вероятности пропуска слабого источника ИИ при прочих равных условиях. Аналогичен способ поиска и обнаружения слабых источников ИИ в радиометре-дозиметре МКС-06Н «Инспектор» (Радиометр-дозиметр МКС-06Н INSPECTOR. Паспорт. М.: ТОО «Грин Стар», 1996).

Очевидно, что для снижения уровня минимального обнаруживаемого сигнала при разработке устройств для поиска и обнаружения слабых источников ИИ стремятся увеличить габариты (площадь чувствительной поверхности) детекторов и тем самым повысить эффективность регистрации. Именно в этом заключается основное отличие устройства (Jobst J. E. A history of aerial surveys radiological incidents and accidents / J. E. Jobst. CONF-860932. 1987. Р. 79–84) от Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997.; Дозиметр-радиометр ДРБП-03. Паспорт ГКПС 14.00.00.000 ПС. М.: ВНИИФТРИ, 1996.; Радиометр-дозиметр МКС-06Н INSPECTOR. Паспорт. М.: ТОО «Грин Стар», 1996). Устройство (Jobst J. E. A history of aerial surveys radiological incidents and accidents / J. E. Jobst. CONF-860932. 1987. Р. 79–84) представляет собой высокочувствительную вертолетную поисковую систему, построенную на больших сцинтилляционных кристаллах NaI:Тl (диаметром 120 мм). Однако, в (Jobst J. E. A history of aerial surveys radiological incidents and accidents / J. E. Jobst. CONF-860932. 1987. Р. 79–84) не содержится описание использованного способа поиска и обнаружения.

Известны способы обнаружения источников ИИ (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64), в которых используются некоторые основные положения и выводы из теории обнаружения (Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. Т. 1. М.: Сов. радио, 1972. 744 с.; Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.; Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов [и др.]. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.; Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. М.: Мир, 1975. 776 с). Однако в (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64) упомянутые положения

используются недостаточно последовательно и точно, и потому также приводят к завышению порогов обнаружения.

В соответствии с теорией обнаружения (Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. Т. 1. М.: Сов. радио, 1972. 744 с.; Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.; Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов [и др.]. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.; Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. М.: Мир, 1975. 776 с), в условиях полной априорной неопределенности (т. е. когда об обнаруживаемом объекте нет информации ни о наличии-отсутствии на нем источника ИИ, ни о величине сигнала от источника ИИ) в обнаружителе может (и должен) использоваться только критерий Неймана–Пирсона, являющийся наиболее мощным критерием. Последнее означает, что применение критерия Неймана–Пирсона позволяет получить наибольшую теоретически возможную вероятность обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги.

Вторым важнейшим положением теории обнаружения, которое должно использоваться при инженерной реализации теории, является необходимость вычисления отношения правдоподобия. Для практических целей удобнее использовать эквивалентное упомянутому отношению правдоподобия выражение для достаточной статистики (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64), которое в нашем конкретном случае обнаружения слабых потоков ИИ имеет вид

$$\eta = \frac{n - b}{\sqrt{\frac{n}{t_n} + \frac{b}{t_b}}}, \quad (1)$$

где все обозначения совпадают с введенными выше (в разделе с описанием аналога – дозиметра ДРС-РМ 1401). По физическому смыслу величина η представляет собой нормализованное значение средней скорости счета сигнала от обнаруживаемого источника $a = n - b$ (иначе: величина η – это сигнал, представленный в таком виде, когда его дисперсия равна единице).

Полученное значение η сравнивают с порогом Q_0 , значение которого зависит от заданной оператором вероятности ложной тревоги $P_{лт}$ и определяется из таблиц нормального закона распределения.

В способе поиска и обнаружения, описанном в (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64), применяется критерий Неймана–Пирсона (по утверждению авторов), однако порог обнаружения вычисляется не с помощью достаточной статистики (1), а в виде

$$Q = bT_n + m\sigma, \quad (2)$$

где $\sigma = (N_b)^{1/2}$ – среднеквадратическое отклонение величины N_b , равной количеству импульсов, зарегистрированных за время измерения уровня фона T_b .

Очевидно, что описанный способ почти не отличается от (Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Минск: СП Полимастер, 1997), за исключением того, что значения T_b и T_n могут устанавливаться (регулироваться) в зависимости от требуемой точности и ограничений на время измерения. Причем определение порога по (2) приводит к существенному завышению минимального обнаруживаемого сигнала по сравнению с теорией, т. е. по сравнению с (1), поскольку количество с. к. о. m в (2) устанавливается на основе опыта работы или по интуиции (обычно $m > 4$), а не на основе строго задаваемых параметров обнаружения и теории обнаружения.

В известном «Способе мониторингирования перемещающихся объектов на предмет обнаружения делящихся ядерных материалов» (Пат. 02150127 РФ) в основном используются соотношения в соответствии с теорией обнаружения (Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. Т. 1. М.: Сов. радио, 1972. 744 с.; Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.; Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов [и др.]. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.; Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. М.: Мир, 1975. 776 с), причем для формирования порога обнаружения, вычисляемого по заданной вероятности ложных тревог, применяются поправки на Пуассоновскую статистику, что особенно важно при малых скоростях счета. Однако и здесь не совсем строго применены подходы теории обнаружения; в частности, в формуле для порога обнаружения совершенно отсутствует составляющая дисперсии, обусловленная уровнем и режимом измерения фона.

Известен также способ обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений (Пат. 2140660 РФ), который полностью и строго базируется на теории обнаружения (Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. Т. 1. М.: Сов. радио, 1972. 744 с.; Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.; Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов [и др.]. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.; Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. М.: Мир, 1975. 776 с) и сводится к следующей последовательности операций:

- перед началом контроля объектов определяют порог Q_0 в соответствии с задаваемой оператором вероятностью ложных тревог по таблицам для нормального распределения;
- измеряют среднюю скорость счета b , обусловленного фоновым излучением, причем время измерения фона T_b может быть любым большим и определяется оперативной обстановкой либо вводится оператором;
- прибор переключают в режим оперативного контроля, т. е. измеряют количество импульсов излучения от контролируемого объекта N_0 в течение интервала контроля T_n , задаваемого оператором; вычисляют среднюю скорость счета аддитивной смеси сигнала и фона $n = N_0/T_n$;
- определяют значение параметра η по (1);
- полученное значение параметра η сравнивают с порогом Q_0 . Если $\eta > Q_0$, то принимают решение об обнаружении (включается световой или звуковой сигнал «тревоги»); в противном случае принимают решение о необнаружении (об отсутствии источника), которое фиксируют в отчете по процедуре проведения контроля.

Описанные выше способы (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64.; Пат. 02150127 РФ; Пат. 2140660 РФ) не пригодны для задач поиска; они могут использоваться именно и только для задач обнаружения источников ИИ на контролируемых объектах. Очевидно, что при контроле объектов на предмет обнаружения источников ИИ ключевым является то, что фон измеряют заранее; когда объект контроля точно отсутствует в зоне чувствительности детектора. И второй ключевой момент заключается в следующем: оператору всегда точно известно, присутствует ли проверяемый на предмет наличия ИИ объект в зоне контроля (для этого используются так называемые «датчики присутствия», либо оператор сам непосредственно видит объект контроля и в нужный момент времени нажимает кнопки «старт» и «стоп»). Причем время контрольного замера излучения от объекта соответствует значению, равному времени нахождения объекта в зоне чувствительности детекторов. А для принятия решения о наличии либо отсутствии ИИ на объекте в способах типа (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64.; Пат. 02150127 РФ; Пат. 2140660 РФ) ре-

зультат измерений излучения от объекта прямо или косвенно сравнивается с заранее измеренным уровнем фона.

При проведении поиска складывается существенно иная постановка задачи: в общем случае при поиске всегда не известно, присутствует или нет слабый источник ИИ в зоне чувствительности детектора. При проведении поиска требуется непрерывно, в течение длительного времени, достигающим 3–10 часов, при перемещении аппаратуры с детекторами измерять излучение, и из полученной реализации каким-то образом извлекать информацию для принятия решения о наличии либо отсутствии источника ИИ. В такой постановке задачи способы (Кириллов В. М. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений / В. М. Кириллов, В. И. Супрунов. Измерительная техника. 1994. № 8. С. 63–64.; Пат. 02150127 РФ; Пат. 2140660 РФ) в принципе не пригодны.

Кроме того, очень важно, что все описанные выше способы не пригодны для применения к задачам поиска в условиях, когда фон является существенно нестационарным. Как показывают результаты практических исследований фона на длительных интервалах времени (Статистические характеристики флуктуации гамма- и нейтронного фона / В. С. Андреев [и др.] // VI Международное совещание «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии»: тез. докл. М.: 2002. С. 32.; Викторов Л. В. Вариации нейтронного поля Земли / Л. В. Викторов, Ю. А. Могильникова // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2000. С. 95 – 104; Хазанов Д. Б. Построение систем оценки радиационной обстановки в районе расположения АЭС (Обзор) / Д. Б. Хазанов // Ядерное приборостроение. Вопросы атомной науки и техники. 1985. Вып. 2. С. 3), уровень фона, измеряемый с интервалами усреднения порядка 100 – 300 с, может изменяться со скоростями порядка 10 с. к. о. за 20 – 30 мин, а за 2 – 3 часа (за время проведения поиска) «уходить» на 30 % и более. Если для задач радиационного контроля объектов проблема адаптации к флуктуациям среднего уровня фона может решаться довольно просто (в пределе, в самых неблагоприятных условиях – путем измерения уровня фона перед контролем каждого нового объекта), то в задачах поиска проблему адаптации к изменениям фона решить непросто. Здесь неприемлем такой, например, прием: выходить из зоны поиска каждые 15 – 20 мин для уточнения уровня фона. Поэтому чаще прибегают к единственно возможной в указанных условиях мере – к способу завышения (загрубления) порогов обнаружения.

Известны способы для поиска и обнаружения радиоактивных объектов, используемые в устройствах типа (Пат. 0216909 РФ) и относящиеся к области радиационного мониторинга. Эти способы могут быть использованы для поиска и обнаружения радиоактивных объектов на местности и пространственного распределения радиоактивных источников при ядерно-физическом каротаже скважин. Однако указанные способы и соответствующие им устройства (Пат. 0216909 РФ) близки к заявляемому только по названию; по сути они обязательно предполагают применение множества стационарных постов со сложными устройствами радиационного контроля, снабженными коллиматорами. Обзорное описание указанной группы способов и устройств, предназначенных для непрерывного радиационного мониторинга местности вокруг АЭС и для оперативного мониторинга в случае аварии, приведено в (Хазанов Д. Б. Построение систем оценки радиационной обстановки в районе расположения АЭС (Обзор) / Д. Б. Хазанов // Ядерное приборостроение. Вопросы атомной науки и техники. 1985. Вып. 2. С. 3).

Известна также большая группа устройств, предназначенных для обнаружения источников ИИ и делящихся материалов. Например, системы «Янтарь-1А» (Стационарная таможенная система обнаружения делящихся и радиоактивных материалов «Янтарь-1А». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ДКЦИ.425713.004 ТО. Дубна: НПО «Аспект», 1997) для контроля проезжающих автомобилей, (и другие аналогичные системы, описанные на сайте НПО «Аспект»), в которых используется способ обнаружения по (Пат. 02150127 РФ), проанализированный выше. Однако все эти устройства (в

том числе и устройства (Хазанов Д. Б. Построение систем оценки радиационной обстановки в районе расположения АЭС (Обзор) / Д. Б. Хазанов // Ядерное приборостроение. Вопросы атомной науки и техники. 1985. Вып. 2. С. 3; Пат. 0216909 РФ)) являются стационарными; для поиска же, как отмечалось выше, в принципе требуется передвижная (или носимая) аппаратура.

Наиболее близким к заявляемому является способ поиска и обнаружения, используемый в переносных приборах МКС-А02 (МКС-А02. Руководство по эксплуатации. ДКЦИ. 411168.002 РЭ. Дубна: НППЦ Аспект, 2000. 19 с), который сводится к следующей последовательности операций:

- перед началом контроля территории или помещения измеряют количество импульсов фоновое излучения N_b , причем время измерения фона T_b , жестко задают равным 20 с;
- по истечении 20 с прибор автоматически переходит в режим «Поиск», т. е. измеряют количество импульсов излучения N_0 , поступающих от зоны контроля, в которой проводится поиск, в течение интервалов контроля T_e , жестко задаваемых равными 1 с;
- в случае если N_0 превысит порог обнаружения, равный 4σ , формируют звуковой сигнал «Источник обнаружен».

Недостаток описанного способа-прототипа, так же, как и аналогов, сводится к тому, что в приборе жестко задаются параметры поиска (времена измерения фона и сигнала и порог обнаружения), которые не адаптированы к параметрам перемещения детектора (к скорости и к предполагаемому расстоянию от детектора до искомого источника) и к параметрам фона. Очевидно, это приводит к тому, что порог обнаружения оказывается сильно завышенным по сравнению с теоретическим (т. е. преднамеренно порог «загрублен»). При этом, безусловно, достигается низкая вероятность ложных тревог $P_{лт} < 10^{-4}$, но за счет существенного увеличения вероятности пропуска слабых сигналов (т. е. снижения вероятности обнаружения). Кроме того, в описанном способе поиска и обнаружения отсутствует «адаптация к уровню нестационарного фона», о которой говорилось выше; это также приводит к существенному увеличению ошибок обнаружения в случаях, когда средний уровень фона нестабилен.

Предлагаемым изобретением решается задача снижения минимального обнаруживаемого при поиске сигнала до уровня, близкого к теоретическому пределу, и одновременно обеспечения возможности проводить поиск в условиях существенно нестационарного фона. Для решения названной задачи в заявляемом способе поиска и обнаружения источников ИИ выполняется следующая последовательность операций.

1) Сразу по прибытии в зону поиска аппаратуры с детекторами начинают измерять среднюю скорость счета аддитивной смеси сигнала и фона $n(T)$. Причем значения $n(T)$ измеряют на участках времени экспозиции (интервалах времени) $T_{эксп}$, длительность каждого из которых одинакова и составляет предпочтительно $(8-15) \cdot T_e$, где T_e представляет собой так называемую эффективную длительность сигнала. Величина T_e заранее известна и определяется скоростью движения аппаратуры с детекторами и расстоянием между детектором и ожидаемой точкой размещения искомого источника ИИ.

2) По окончании интервала № 1 длительностью $T_{эксп1}$ из значений вектора $n_1(T)$, измеренного на интервале № 1, определяют величины средней скорости счета фона b , амплитуды сигнала a_m и положения максимума сигнала на шкале времени T_m .

3) Вычисляют значение параметра η

4) Полученное значение параметра η сравнивают с порогом обнаружения Q_0 , определяемым по заданной вероятности ложных тревог. Если $\eta > Q_0$, то принимают решение об обнаружении (о положительном результате поиска на интервале № 1); в противном случае принимают решение об отсутствии сигнала.

5) Параллельно с процедурой обработки реализации $n_1(T)$ продолжают дальнейшие измерения значений $n(T)$.

6) По окончании интервала № 2 вектор $n_2(T)$ подвергают обработке, точно такой же, как описано в пп. 2 – 4.

7) Далее последовательно повторяют действия по п.п. 1 – 5 для интервалов № № 3 – 5 и т. д. вплоть до завершения поиска на заданной территории.

В описываемом способе поиска и обнаружения использовано предположение о том, что на каждом интервале $T_{\text{экср}}$ и на соответствующей длине отрезка контролируемой зоны поиска может находиться только один точечный источник ИИ.

Эффективная длительность сигнала определяется из соотношения

$$T_e = k_T r_0 / v_0;$$

где r_0 – кратчайшее расстояние между детектором и ожидаемой точкой размещения искомого источника ИИ (для вертолетного комплекса радиационного контроля r_0 равен средней высоте облета); v_0 – средняя скорость движения аппаратуры с детекторами; k_T – коэффициент, значение которого определяется конструкцией детектора (для плоского детектора $k_T = 0$; для всенаправленного детектора $k_T = 2,79$).

При обработке вектора $n(T)$ целесообразно обеспечить такой режим, чтобы каждый последующий $(I + 1)$ -й интервал длительностью $T_{\text{экср}}$ накладывался на предыдущий i -й интервал на величину $2T_e$. Таковое перекрытие необходимо для случаев, когда сигнал расположен на краю интервала.

Величина $T_{\text{экср}}$ определяет фактическое значение времени измерения фона на каждом интервале T_b используемое в формуле (3) для достаточной статистики η .

Приведенное выше соотношение $T_{\text{экср}} = (8-15) \cdot T_e$ близко к оптимуму, т. к. с одной стороны, соблюдено правило $T_b = (T_{\text{экср}} - 2T_e) > T_e$, благодаря которому дисперсия величины (в формуле (3) близка к минимальному значению (при заданных r_0 и v_0); с другой стороны, интервал $T_{\text{экср}}$ должен быть по возможности не очень большим, т. к. он определяет время задержки между моментом пролета над предполагаемым источником (в случае вертолетного комплекса радиационного контроля) и моментом получения оператором информации об обнаружении источника.

Таким образом, предлагаемый способ обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с прототипом и аналогами, главные из которых таковы:

- возможность проведения поиска источников ИИ в условиях существенно нестационарного фона;

- возможность достижения наибольшей вероятности обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги, т. е. возможность достижения низких порогов обнаружения, близких к теоретически предельным (Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис. Т. 1. М.: Сов. радио, 1972. 744 с.; Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.; Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов [и др.]. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.; Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. М.: Мир, 1975. 776 с) для заданных параметров обнаружения. Подчеркнем, что формула (3) для предлагаемого способа поиска и обнаружения полностью эквивалентна исходной формуле (1), выведенной из теории, с учетом соотношений, приведенных в примечании.

Формула изобретения

Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений с использованием перемещаемых по территории (зоне) поиска ионизационных счетчиков или сцинтилляционных детекторов, заключающийся в непрерывном измерении средней скорости счета аддитивной смеси сигнала и фона $n(T)$ в процессе движения детектирующей системы по обследуемой территории, обработки полученной измерительной информа-

ции и принятии решения о результате обнаружения, отличающийся тем, что среднюю скорость счета аддитивной смеси сигнала и фона $n(T)$ измеряют на участках времени экспозиции $T_{\text{экс}}$, длительность каждого из которых одинакова и составляет предпочтительно $(8-15) \cdot T_e$, определяют значения средней скорости счета фона b , амплитуду предполагаемого сигнала a_m и положение сигнала на шкале времени T_m , после чего определяют величину параметра η по формуле

$$\eta = \frac{a_m}{\sqrt{\frac{a_m + b}{t_e} + \frac{b}{t_{\text{экс}}} - 2t_e}},$$

где T_e – заранее известная длительность сигнала, сравнивают η с порогом Q_0 , определяемым по заданной вероятности ложных тревог, причем решение об обнаружении искомого объекта принимают в случае, если $\eta > Q_0$.

Патент № 2242025 РФ Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, В. Л. Петров, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 11.09.2003; опубл. 10.12.2004. Бюл. № 34.

Реферат

Предложен сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения с высоким (микронным) пространственным разрешением, повышенным световыходом сцинтилляций, малым временем (~нс) высвечивания сцинтилляций и красным диапазоном (~ 600 – 720 нм) свечения, способный работать в режиме реального времени и предназначенный для визуализации рентгеновского излучения в томографии, микротомографии, радиографии, в системах таможенного контроля и в системах неразрушающего контроля промышленных изделий. Предложенный сцинтиллятор способен также визуализировать потоки электронного излучения.

Суть изобретения заключается в том, что кристаллы фторида лития или натрия содержат два приповерхностных сцинтилляционных слоя, выполненных в виде дискретных сцинтилляционных ячеек с размерами от 6 мкм и выше и расположенных в параллельных плоскостях со смещением друг относительно друга так, чтобы сцинтилляционные ячейки одного слоя перекрывали несцинтиллирующие промежутки между ячейками другого слоя. Подобная конструкция обеспечивает высокое пространственное разрешение при высоком световыходе сцинтилляций.

Описание изобретения

Изобретение относится к области датчиков ионизирующих излучений с высоким пространственным разрешением, чувствительных к пучкам рентгеновского и электронного излучений и применяемых для их визуализации в томографии, микротомографии, радиографии, в системах таможенного контроля, в системах неразрушающего контроля промышленных изделий, а так же при телемеханическом мониторинге промышленных изделий и технологий.

Известен люминофор-сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения (Digital radiography using an EBCCD-based imaging device / M. Rossi [et al.] // Appl. Radiation and isotopes 2000. Vol. 53. P. 699 – 709) на основе запоминающих фосфоров BaFBr:Eu, создающих скрытое изображение. Однако визуализация скрытого изображения на известном люминофоре-сцинтилляторе происходит только при дополнительной оптической стимуляции, например, He–Ne лазером, т. е. такой люминофор-сцинтиллятор не позволяет работать в режиме реального времени. Кроме того, он имеет недостаточно высокое пространственное разрешение на уровне нескольких сотен микрон.

Известен сцинтиллятор на основе кристаллов NaI:Tl, работающий в сочетании с фотоэлектронными умножителями (Hell E. The evolution of Scintillating medical detectors / E. Hell, W. Knüpfer, D. Mattern // Nucl. Instr. and Meth. 2000. Vol. A454. P. 40 – 48). Однако известный сцинтиллятор не обеспечивает высокого пространственного разрешения, поскольку является сплошным, вследствие чего в нем происходит изотропное рассеяние сцинтилляций и изображение размывается. Кроме того, спектр излучения NaI:Tl (410 нм) плохо согласуется со спектральной чувствительностью PIN-фотодиодов (420 – 800 нм).

Известен сцинтилляционный экран на основе полистироновых сцинтиллирующих волокон (Reflection losses In polystyrene fibers / C. D'Ambrosio [et al.] // NIM. 1991. Vol. A306. P. 549), работающих в сочетании с мультянодными (многоканальными) фотоэлектронными умножителями (Группен К. Детекторы элементарных частиц: справочное издание / К. Группен; пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с). Такой сцинтилляционный экран имеет пространственное разрешение на уровне 20 –

60 мкм, однако из-за низкого эффективного атомного номера ($Z_{\text{эф}} \leq 6$) он обладает очень низкой чувствительностью к рентгеновскому излучению и неэффективен для его визуализации. Кроме того, сцинтилляторы из органических материалов обладают очень низкой термической и радиационной стойкостью.

Известны сцинтиллирующие среды на основе гамма-облученных пленок фторидов LiF , MgF_2 , BaF_2 или CaF_2 (или их комбинаций), полученных методом термовакuumного напыления фторидов металлов после гамма-облучения этих пленок заданной дозой, обычно 7 кКл/кг (Спектрально-люминесцентные свойства гамма-облученных кристаллов и пленок на основе фторидов / А. П. Войтович [и др.] // Журн. прикл. спектр. 2003. Т. 70, № 1. С. 116–123). Недостатком известных сцинтилляционных сред является их недостаточно высокое пространственное разрешение, что связано с тем, что центры окраски в пленочных или кристаллических фторидах распределены равномерно по всей зоне облучения. Поскольку пленки при малой толщине обладают еще и волноводными свойствами, то при попадании пучка излучения в какую-либо точку пленки ее сплошная светящаяся поверхность создает сильный фон, ухудшающий пространственное разрешение.

Известен сцинтиллятор на основе кристаллов NaF , облученных синхротронным излучением, в результате чего в них вводятся F_2 -центры окраски, которые являются центрами свечения красного диапазона (Иванов В. Ю. Быстрая люминесценция кристаллов на основе NaF / В. Ю. Иванов, Б. В. Шульгин, Т. С. Королева // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 1999. Вып. 2. С. 100 – 102). Максимум полосы свечения F_2 -центров окраски в NaF приходится на область 650 – 675 нм, что хорошо согласуется со спектральной чувствительностью не только фотоэлектронных умножителей, но и PIN-фотодиодов. Длительность сцинтилляций известного сцинтиллятора на основе NaF с центрами окраски равна 8 нс при возбуждении импульсами синхротронного излучения длительностью 430 пс. Однако известный сцинтиллятор на основе NaF является сплошным: сцинтилляционный слой занимает всю поверхность облученного кристалла и поэтому обладает невысокой пространственной разрешающей способностью, соответствующей миллиметровому диапазону.

Наиболее близким к заявляемому сцинтиллятору является тонкослойный сцинтиллятор на основе кристаллов $(\text{Li}, \text{Na})\text{F}:\text{U}, \text{Me}$ с центрами окраски (Эволюция агрегатных центров свечения кристаллов $(\text{Li}, \text{Na})\text{F}$ под действием радиации / А. Н. Черепанов [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2003. Вып. 12. С. 27–38). Такой сцинтиллятор в приповерхностном слое содержит агрегатные центры окраски типа F_2 , F_2^+ , F_3^+ и F_2^- , являющиеся эффективными центрами свечения и обладает основным максимумом свечения при 650 нм. Однако известный тонкослойный сцинтиллятор не может обеспечить высокого пространственного разрешения из-за того, что имеет сплошной сцинтилляционный слой.

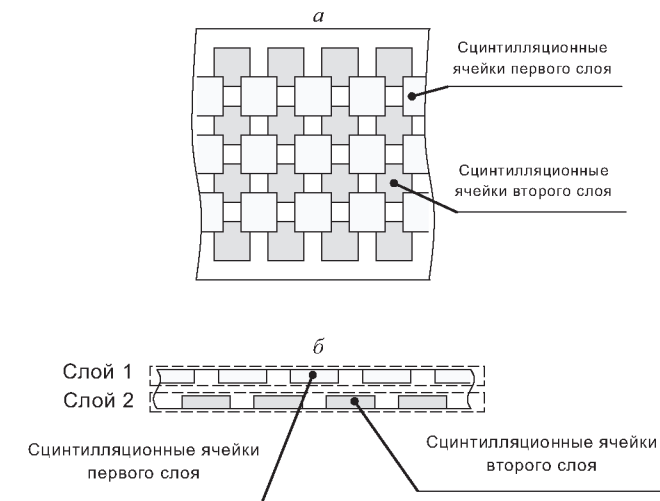
Предлагаемый сцинтиллятор состоит из двух приповерхностных сцинтилляционных слоев, каждый из которых представляет собой сцинтиллятор на основе кристаллов $(\text{Li}, \text{Na})\text{F}$ в виде дискретных ячеек с размерами от 6 мкм до 200 мкм и выше (фиг. 1).

Дискретная структура слоя обеспечивает высокое пространственное разрешение, что связано с тем, что свечение одной из сцинтилляционных ячеек практически не возбуждает свечение соседних. Однако из-за дискретности структуры каждого слоя лишь часть его поверхности может участвовать в свечении, что понижает световыход сцинтилляций дискретного слоя в сравнении со сплошным слоем. Чтобы повысить суммарный световыход устройства слои располагаются в параллельных плоскостях таким образом, чтобы ячейки второго слоя максимально перекрывали несцинтиллирующие промежутки первого слоя при рассмотрении в направлении перпендикулярном этим плоскостям (см. фиг. 1). Таким образом, достигается повышенная сплошность дискретного по

сути покрытия поверхности сцинтилляционными центрами, что сравнивает световыход предлагаемого сцинтиллятора со световыходом сплошных сцинтилляторов. Пространственное разрешение предлагаемого сцинтиллятора составляет единицы-сотни микрон. Визуализация рентгеновского излучения происходит благодаря свечению агрегатных центров окраски типа F_2 , F_2^+ , F_3^+ и F_2^- , с основным максимумом свечения в диапазоне 650 нм, что позволяет применять для считывания изображения PIN-фотодиоды. Длительность сцинтилляций не превышает 8 нс, что обеспечивает работу сцинтиллятора в режиме реального времени. Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтиллятора является возможность визуализации не только рентгеновского, но и электронного излучения.

Формула изобретения

Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения на базе кристаллов (Li,Na)F, содержащий приповерхностный сцинтилляционный слой с центрами окраски, отличающийся тем, что сцинтиллятор дополнительно содержит второй приповерхностный сцинтилляционный слой, причем оба этих слоя выполнены в виде дискретных сцинтилляционных ячеек размерами от 6 мкм и выше и расположены в параллельных плоскостях со смещением друг относительно друга так, чтобы сцинтилляционные ячейки одного слоя перекрывали несцинтиллирующие промежутки между ячейками другого слоя.



Фиг. 1

Патент № 2243573 РФ Способ изготовления сцинтилляционных экранов для визуализации рентгеновского излучения / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Ф. Г. Нешов, Ю. А. Ушаков, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 23.07.2003; опубл. 27.12.2004. Бюл. № 36.

Реферат

Предложен способ изготовления сцинтилляционных экранов для визуализации рентгеновского излучения с высоким (микронным) пространственным разрешением, малым временем (\sim нс) высвечивания сцинтилляций и красным диапазоном ($\sim 600 - 720$ нм) свечения, способных работать в режиме реального времени и предназначенных для визуализации рентгеновского излучения в устройствах томографии, микротомографии, радиографии высокого разрешения, в системах неразрушающего контроля промышленных изделий, в системах таможенного контроля, для телемедицинских приложений, телемеханического мониторинга промышленных технологий и в системах предпроцессорной визуализации излучений, передающих информацию специалистам через Интернет для последующей полной обработки. Получаемые предложенным способом сцинтилляционные экраны способны также визуализировать потоки электронного излучения.

Суть изобретения заключается в том, что кристаллы фторида лития или фторида натрия подвергаются облучению сканирующим пучком ионов He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ при токе пучка от 100 до 300 нА и флюенсе пучка от $1 \cdot 10^{18}$ до $2 \cdot 10^{19}$ м $^{-2}$ через плотно прилегающую к кристаллам радиационно-стойкую маску в виде металлической сетки с размером ячеек от 6–10 мкм и выше. Размер экранов – от 2×2 см 2 до 30×30 см 2 – определяется длиной сканирования. Может быть создан ансамбль экранов из отдельных экранов путем их склеивания в единую плоскую или круговую конструкцию нужной конфигурации для увеличения общего размера экрана.

Описание изобретения

Изобретение относится к области создания датчиков ионизирующих излучений в виде сцинтилляционных экранов высокого пространственного разрешения, чувствительных к пучкам рентгеновского и электронного излучения и применяемых для визуализации в томографии, микротомографии, радиографии высокого разрешения, в системах неразрушающего контроля промышленных изделий, в системах таможенного контроля, для телемедицинских приложений, телемеханического мониторинга промышленных технологий и в системах предпроцессорной визуализации излучений, передающих информацию специалистам через Интернет для последующей полной обработки.

Известен способ изготовления экранов для визуализации рентгеновского излучения (Zscherpel U. Film digitization system for DiR: standards requirement, archiving and printing / U. Zscherpel // Jour. of Non-Destructive Evaluation. 2000. Vol. 20. P. 53 – 50). Данный способ связан с получением рентгеновских пленок, которые обеспечивают визуализацию рентгеновского излучения, благодаря образующимся под действием излучения коллоидальным частицам серебра, формирующим вначале скрытое изображение, а после специальной обработки – видимое (потемнение пленки). Однако этот способ не позволяет получать люминесцентные сцинтилляционные экраны, работающие в режиме реального времени (в «on line» режиме) с пространственным разрешением в микронном диапазоне.

Известен способ изготовления люминесцентных экранов для визуализации рентгеновского излучения (Digital radiography using an EBCCD-based imaging device / M. Rossi [et al.] // Appl. Radiation and isotopes 2000. Vol. 53. P. 699 – 709). Этот способ связан с изготовлением экранов на основе запоминающих фосфоров BaFBr:Eu, создающих скрытое изображение. Однако детектор, полученный по известному способу, позво-

ляет визуализировать скрытое изображение на экране из BaFBr:Eu) только при дополнительной оптической стимуляции, например, He–Ne лазером, т. е. такой детектор не работает в режиме реального времени. Кроме того, такой экран имеет пространственное разрешение на уровне нескольких сотен микрон и применение совместно с ним пиксельной системы считывания микронного разрешения (десятки микрометров и меньше) нецелесообразно.

Известен способ изготовления сцинтилляционных экранов на основе кристаллов NaI:Tl, работающих в сочетании с фотоэлектронными умножителями (Hell E. The evolution of Scintillating medical detectors / E. Hell, W. Knüpfner, D. Mattern // Nucl. Instr. and Meth. 2000. Vol. A454. P. 40 – 48). Однако известный способ получения экранов не обеспечивает их высокого пространственного разрешения, поскольку экраны получают сплошными, вследствие чего происходит изотропное рассеяние сцинтилляций внутри экрана и изображение размывается. Получаемые таким способом экраны имеют разрешение на уровне нескольких сотен микрон, поэтому применение совместно с ними пиксельной системы считывания высокого разрешения (десятки микрометров и меньше) нецелесообразно, тем более что спектр излучения NaI:Tl (410 нм) плохо согласуется со спектральной чувствительностью PIN-фотодиодов (420 – 800 нм). Кроме того, известный способ не позволяет получить сцинтилляционные экраны с повышенной нагрузочной способностью, поскольку экран из NaI:Tl имеет большую длительность сцинтилляций – 250 нс.

Известен способ изготовления сцинтилляционных экранов на основе полистиреновых сцинтиллирующих волокон (Reflection losses In polystyrene fibers / C. D'Ambrosio [et al.] // NIM. 1991. Vol. A306. P. 549), работающих в сочетании с мультианодными (многоканальными) фотоэлектронными умножителями (Группен К. Детекторы элементарных частиц: справочное издание / К. Группен; пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с). Такие экраны имеют пространственное разрешение на уровне от 20 – 30 до 60 мкм, однако из-за низкого эффективного атомного номера $Z_{\text{эф}} \leq 6$ обладают очень низкой чувствительностью к рентгеновскому излучению и неэффективны для его визуализации. Кроме того, экраны из органических материалов обладают очень низкой термической и радиационной стойкостью.

Известен способ изготовления сцинтилляционных экранов на основе гамма-облученных пленок фторидов LiF, MgF₂, BaF₂ или CaF₂ (или их комбинаций), заключающийся в термовакuumном напылении пленок фторидов металлов после гамма-облучения заданной дозой, обычно 7 ККл/кг (Спектрально-люминесцентные свойства гамма-облученных кристаллов и пленок на основе фторидов / А. П. Войтович [и др.] // Журн. прикл. спектр. 2003. Т. 70, № 1. С. 116–123). Облучение приводит к созданию в кристаллах F₂⁻ и F₃⁺-центров окраски, ответственных за люминесценцию с максимумами в области 675 нм (свечение F₂⁻-центров) и 543 нм (свечение F₃⁺-центров). Однако получаемые по известному методу экраны требуют большого времени облучения (несколько часов), т. е. известный метод не является экспрессным. Недостатком известного метода является также то, что центры окраски (они всегда имеют наноструктурные размеры) в пленочных или кристаллических фторидах возникают равномерно по всей зоне облучения. Из-за изотропного распределения центров свечения и фотонов сцинтилляционных вспышек, пространственное разрешение экранов, получаемых таким способом (не смотря на малость размеров самих центров окраски), относится к миллиметровому диапазону. Поскольку пленки экрана при малой толщине обладают еще и волноводными свойствами, то при попадании пучка излучения в какую-либо точку экрана сплошная светящаяся поверхность экрана создает сильный фон, ухудшающий пространственное разрешение.

Известен способ получения быстрых сцинтилляционных экранов на основе кристаллов NaF (Иванов В. Ю. Быстрая люминесценция кристаллов на основе NaF /

В. Ю. Иванов, Б. В. Шульгин, Т. С. Королева // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 1999. Вып. 2. С. 100 – 102). Способ заключается в том, что кристаллы NaF облучают синхротронным излучением, в результате чего в них наводятся F₂-центры окраски, которые являются центрами свечения красного диапазона. Максимум полосы свечения F₂-центров окраски в NaF приходится на область 650 – 675 нм, что хорошо согласуется со спектральной чувствительностью не только фотоэлектронных фотоумножителей, но и PIN-фотодиодов. Длительность сцинтилляций получаемых по известному способу экранов равна 8 нс при возбуждении импульсами синхротронного излучения длительностью 430 пс. Однако получаемые по известному способу сцинтилляционные экраны являются сплошными, они занимают всю поверхность облученного кристалла и поэтому обладают невысоким пространственным разрешением.

Наиболее близким к заявляемому является способ изготовления сцинтилляционных экранов на основе кристаллов LiF или NaF с центрами окраски (Эволюция агрегатных центров свечения кристаллов (Li,Na)F под действием радиации / А. Н. Черепанов [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2003. Вып. 12. С. 27–38). Способ заключается в облучении кристаллов LiF:U,Me или NaF:U,Me, активированных ионами урана, скандия, стронция или меди, циклотронным пучком ионов He⁺ с энергией 3 МэВ при токе пучка от 1500 до 6500 нА. В результате облучения в приповерхностном слое кристаллов LiF:U,Me или NaF:U,Me наводятся агрегатные центры окраски типа F₂, F₂⁺, F₃⁺ и F₂⁻, являющиеся эффективными центрами свечения, т. е. формируется сцинтилляционный слой на центрах окраски с основными максимумами свечения в диапазоне от 500 до 720 нм в LiF и от 400 до 700 нм в NaF (позиция максимума свечения зависит от тока пучка). Однако сцинтилляционные экраны, получаемые по известному способу (при токах пучка ионов He⁺ 1500 и 6500 нА) обладают плохой стабильностью, наблюдается распад и частичный отжиг агрегатных центров свечения из-за передозировки и разогрева образцов (до 450 К) вследствие большой плотности тока и создаваемых им больших флюенсов до 10²¹ м⁻². Основным недостатком экранов, получаемых по известному способу, является их сплошность, что не обеспечивает высокого пространственного разрешения: оно остается на уровне от десятых долей миллиметра до миллиметров. Недостатком известного способа являются также дополнительные расходы, связанные с активацией кристаллов ионами урана, скандия, стронция или меди.

В предлагаемом способе изготовления сцинтилляционных экранов на центрах окраски в кристаллах LiF или NaF с использованием циклотронных пучков ионов He⁺ с энергией 3 МэВ облучение кристаллов ведут через радиационно-стойкую маску в виде металлической сетки (танталовой, титановой или латунной) с заданными микронными размерами ячеек (от 6–10 мкм и выше, если требуются экраны с субмиллиметровым разрешением) при токе пучка от 100 до 300 нА и флюенсе пучка от 1·10¹⁸ до 2·10¹⁹ м⁻². Облученные участки кристаллов LiF или NaF в виде регулярных ячеек (чипов) имеют повышенное содержание агрегатных центров окраски, являющихся центрами свечения и играют роль микросцинтилляционных сенсоров, обеспечивающих визуализацию рентгеновского излучения с высоким пространственным разрешением вплоть до уровня нескольких микрон в соответствии с шагом металлической радиационно-стойкой сетки.

Размер сцинтилляционных экранов, получаемых по предлагаемому способу, ограничен размерами камеры облучения. Однако общий размер сцинтилляционных экранов, получаемых по предлагаемому способу, может быть многократно увеличен до требуемого размера, если их составлять из нескольких первичных базовых экранов, склеенных вместе. Поскольку как кристаллы LiF, так и NaF имеют кубическую структуру каменной соли, они обладают идеальным сколом и легко склеиваются в большие ансамбли. Например, если размеры камеры облучения позволяют создавать экраны размером

$3 \times 3 \text{ см}^2$, а требуется сцинтилляционный экран размером $30 \times 30 \text{ см}^2$, то для его получения достаточно создать 100 экранов $3 \times 3 \text{ см}^2$ на базе цельных кристаллов LiF или NaF и склеить их в единую планарную и круговую конструкцию. В предлагаемом способе облучение кристаллов LiF и NaF ведут сканирующим пучком ионов He с длиной сканирования, определяемой размерами камеры облучения. Длина сканирования может быть от нескольких сантиметров до двух–трех десятков сантиметров.

Преимуществами предлагаемого способа изготовления сцинтилляционных экранов являются:

- малая длительность сцинтилляций (единицы наносекунд), обеспечивающая большую загрузочную способность тракта регистрации, что необходимо в промышленных системах неразрушающего контроля крупногабаритных ответственных изделий и узлов автомобильной, авиационной и атомной промышленности;
- красный диапазон ($\sim 600 - 720 \text{ нм}$) свечения ячеек экрана с высоким пространственным разрешением (до единиц–десятков микрометров), обеспечивающими эффективную регистрацию сигналов с экрана с помощью оптической системы пикселей;
- возможность формирования плоских ансамблей экранов из отдельных блоков, возможность формирования круговых рентгеновских камер.

Дополнительным преимуществом предлагаемого способа получения сцинтилляционных экранов является возможность создания экранов для визуализации не только рентгеновского, но и электронного излучения.

Пример 1. Экран изготавливают на основе кристалла LiF. Размер кристалла $3,5 \times 3,5 \text{ см}^2$, толщина – 3 мм. Облучение образцов проводят в камере циклотрона (например, циклотрона У-120 УГТУ–УПИ) пучком ионов He^+ с энергией 3 МэВ при токе пучка 300 нА до флюенса $2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$. Длина сканирования до 4 см. Размер поля облучения – поля экрана – $3,5 \times 3,5 \text{ см}^2$. Облучение кристаллов проведено через танталовую сетку $5 \times 5 \text{ см}^2$, имеющую шаг 35 мкм. Фрагмент сцинтилляционного экрана приведен на фиг. 1. Его размеры $475 \times 358 \text{ мм}^2$. Снимок сделан с помощью анализатора изображений SiAMS 600 и приведен после цифровой обработки. Фрагмент экрана состоит из регулярного набора сцинтилляционных ячеек-чипов, расположенных на глубине 4 мкм. Сцинтилляционный чип представляет собой квадрат со стороной 26,25 мкм, разделительная полоса имеет размер 8,75 мкм, период расположения чипов – 35 мкм (как шаг сетки-маски). Экран готов к визуализации рентгеновского излучения. Фрагмент экрана, рис. 52, содержит 15×12 чипов², весь экран с полем $3,5 \times 3,5 \text{ см}^2$ содержит примерно 1000×1000 чипов². Под действием рентгеновского излучения чипы сцинтиллируют независимо друг от друга, что обеспечивает пространственное разрешение 28,6 чипов/мм. Светят центры окраски в широком диапазоне спектра (фиг. 2) от 400 до 760 нм. Основная светосумма высвечивается агрегатными центрами окраски F_2 и F_3^+ -типа в области 540 – 640 нм и центрами F_2^- в области 720 – 740 нм. Длительность сцинтилляций – 6 – 8 нс, что обеспечивает высокую загрузочную способность тракта регистрации. Образовавшиеся после быстрой (10 – 100 нс) первичной эволюции (от простых F-центров к сложным) центры окраски устойчивы. Наведенная излучением окраска сохраняется в течение нескольких лет.

Пример 2. Экран изготавливают на основе кристалла NaF. Размер кристалла $3,5 \times 3,5 \text{ см}^2$, толщина – 3 мм. Облучение образцов проводят в камере циклотрона У-120 УГТУ–УПИ пучком ионов He^+ с энергией 4,6 МэВ при токе пучка 100 нА до флюенса $1 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2}$ через танталовую сетку с шагом 35 мкм. Длина сканирования до 4 см. Размер поля облучения – поля экрана – $3,5 \times 3,5 \text{ см}^2$. Сцинтилляционный экран имеет примерно такой же вид как на фиг. 1. Спектральные параметры излучения экрана при рентгенов-

ском возбуждении следующие: максимум свечения – 650 – 670 нм, длительность сцинтилляций – 8 нс. Интенсивность свечения на 20 % ниже, чем в примере 1. Способ обеспечивает высокое пространственное разрешение сцинтилляционных экранов, порядка 35 мкм или 28,6 чипов/мм, определяемого размерами ячеек сетки. Экран содержит ~ 1000×1000 чипов².

Пример 3. Экран изготавливают на основе кристалла NaF. Размер кристалла 3,5×3,5 см², толщина – 3 мм. Облучение образцов проводят в камере циклотрона У-120 УГТУ–УПИ пучком ионов He⁺ с энергией 1,3 МэВ при токе пучка 200 нА до флюенса 1·10¹⁹ м⁻² через танталовую сетку с шагом 35 мкм. Длина сканирования до 4 см. Размер поля облучения – поля экрана – 3,5×3,5 см². Сцинтилляционный экран имеет вид, похожий на тот, который приведен на фиг. 1. Спектральные параметры излучения экрана при рентгеновском возбуждении следующие: максимум свечения – 650 – 670 нм, длительность сцинтилляций – 8 нс. Интенсивность свечения на 10 % ниже, чем в примере 1. Способ обеспечивает высокое пространственное разрешение сцинтилляционных экранов, порядка 35 мкм, определяемого размерами ячеек сетки. Экран содержит ~ 1000×1000 чипов².

Пример 4. Экран изготавливают на основе кристалла NaF. Размер кристалла 3,5×3,5 см², толщина – 3 мм. Облучение образцов проводят в камере циклотрона У-120 УГТУ–УПИ пучком ионов He⁺ с энергией 6 МэВ при токе пучка 1500 нА до флюенса 1·10¹⁹ м⁻² через танталовую сетку с шагом 35 мкм. Длина сканирования до 4 см. Размер поля облучения – поля экрана – 3,5×3,5 см². Качество экрана невысокое. Разделительные линии несколько размываются, что снижает пространственное разрешение. Спектральные параметры излучения экрана отличаются от параметров из примера 1, поскольку структура центров окраски при больших токах облучения иная, возрастает интенсивность синего компонента, менее устойчивого по своей природе. Из-за большого тока, вызывающего накопление заряда на поверхности, пересечение треков и разогрев кристалла, происходит отжиг центров окраски и снижение выхода в 2 – 3 раза по сравнению с примером 1. Недостатком режима облучения с энергией выше 5 МэВ является введенная активность на ядрах лития и фтора, при этом экраны перестают удовлетворять требованиям радиационной безопасности.

Пример 5. Экран изготавливают на основе кристалла NaF. Размер кристалла 3,5×3,5 см², толщина – 3 мм. Облучение образцов проводят в камере циклотрона У-120 УГТУ–УПИ пучком ионов He⁺ с энергией 3 МэВ при токе пучка 6000 нА до флюенса 1·10¹⁸ м⁻² через танталовую сетку с шагом 35 мкм. Длина сканирования до 4 см. Размер поля облучения – поля экрана – 3,5×3,5 см². Сцинтилляционный экран содержит систему чипов с размытыми краями, что снижает пространственное разрешение экрана. Спектральные параметры излучения экрана близки к параметрам из примера 1, однако из-за большого тока, вызывающего разогрев кристалла, происходит радиационный и термический отжиг центров окраски, изменение их состава и снижение выхода люминесценции в 3 – 5 раз по сравнению с примером 1.

Пример 6. Экран изготавливают на основе кристалла NaF. Размер кристалла 2×2 см², толщина – 3 мм. Облучение образцов проводят в камере пучком ионов He⁺ с энергией 0,5 МэВ при токе пучка 50 нА до флюенса 1·10¹⁷ м⁻² через танталовую сетку с шагом 35 мкм. Длина сканирования до 4 см. Размер поля облучения – поля экрана – 2×2 см². Сцинтилляционный экран не имеет четкой картины чипов. Пространственное разрешение резко снижается. Спектральные параметры излучения экрана близки к параметрам из примера 1, однако экран имеет слабый световыход из-за малого содержания агрегатных центров окраски. Качество экрана вследствие малой глубины проникновения ионов He⁺ с энергией 0,5 МэВ снижается из-за существенного влияния поверхности.

Пример 7. Экран изготавливают на основе кристалла NaF. Размер кристалла $2 \times 2 \text{ см}^2$, толщина – 3 мм. Облучение образцов проводят в камере циклотрона У-120 УГТУ–УПИ пучком ионов He^+ с энергией 3 МэВ при токе пучка 200 нА до флюенса $1 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$ через латунную сетку толщиной 100 мкм с периодом ячеек – 250 мкм. Получают экран в виде набора сцинтилляционных ячеек в форме квадратов размером $150 \times 150 \text{ мкм}^2$ и периодом – 250 мкм, что не обеспечивает пространственного разрешения на уровне десятков микрон.

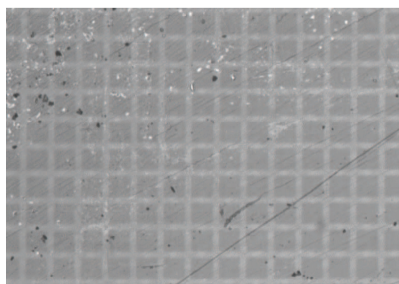
Пример 8. Экран изготавливают на основе кристалла NaF. Размер кристалла $2 \times 2 \text{ см}^2$, толщина – 3 мм. Облучение образцов проводят в камере циклотрона У-120 УГТУ–УПИ пучком ионов He^+ с энергией 3 МэВ при токе пучка 200 нА до флюенса $1 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$ через железную (стальную) сетку толщиной 0,5 мм с диаметром ячеек – 1 мм. В этом случае экран имеет вид набора чипов с периодом их расположения – 1 мм, что не обеспечивает высокого пространственного разрешения.

Формула изобретения

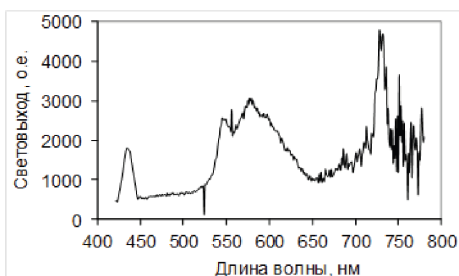
1. Способ изготовления сцинтилляционных экранов для визуализации рентгеновского излучения на центрах окраски кристаллов LiF или NaF путем облучения кристаллов циклотронным пучком ионов He^+ с энергией $3 \pm 2 \text{ МэВ}$, отличающийся тем, что кристаллы облучают через плотно прилегающую к ним радиационно-стойкую маску в виде металлической сетки с размером ячеек от 6–10 мкм и выше при токе пучка от 100 до 300 нА и флюенсе пучка от $1 \cdot 10^{18}$ до $2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$.

2. Способ изготовления сцинтилляционных экранов для визуализации рентгеновского излучения по п. 1, отличающийся тем, что облучение кристаллов LiF и NaF проводят сканирующим пучком ионов He^+ , с длиной сканирования до 30 см и более для изготовления экранов больших размеров.

3. Способ изготовления сцинтилляционных экранов для визуализации рентгеновского излучения по п. 1 или п. 2, отличающийся тем, что края экранов скалывают и склеивают в единую конструкцию для формирования плоских и круговых ансамблей нужной конфигурации и размеров.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент № 2244320 РФ. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, Д. В. Райков, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева. Заявл. 30.06.2003; опубл. 10.01.2005. Бюл. № 1.

Реферат

Предложен сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов с высокой эффективностью, способный селективно регистрировать нейтроны на гамма-фоне, а так же промежуточные и быстрые нейтроны и бета-излучение. Суть изобретения заключается в том, что, кристалл фторида кальция, активированный европием, содержит дополнительно изотоп гелия ^3He ; все ингредиенты сцинтиллятора входят в него в определенном соотношении, ат. %: CaF_2 – 99,25 – 99,59; EuF_3 – 0,4–0,7; ^3He – 0,01 – 0,05. Регистрации тепловых нейтронов происходит за счет двух физических процессов: реакции (n, α) на ядрах Eu с сечением взаимодействия 4600 барн для естественной смеси изотопов европия; реакции (n, p) на ядрах ^3He с сечением взаимодействия 4000 барн. Предлагаемое в настоящем описании соотношение компонентов сцинтиллятора обеспечивает наилучшую эффективность регистрации тепловых нейтронов.

Описание изобретения

Изобретение относится к сцинтилляционным материалам, предназначенным для регистрации тепловых нейтронов и пригодным для создания на их основе радиационных детекторов для радиоэкологического мониторинга территорий и акваторий, контроля космического и техногенного нейтронного фона, для создания комплексов технического контроля за первичным ядерным топливом и за изделиями из делящихся материалов.

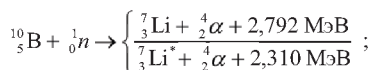
Для обнаружения и измерения плотности потока тепловых нейтронов сцинтилляционным методом необходимы сцинтилляционные материалы (вещества в которых под действием тепловых нейтронов возникают световые вспышки – сцинтилляции), основными свойствами которых (веществ в целом или отдельных компонентов их состава) являются: повышенное сечение (вероятность) взаимодействия с тепловыми нейтронами; оптимальная длина волны излучения сцинтилляционной вспышки, согласующаяся со спектральной чувствительностью фотоприемника; высокий световыход сцинтилляций; небольшое, укладывающееся в нано-, микросекундный диапазон время высвечивания; а также достаточно широкий диапазон рабочих температур.

Известен неорганический сцинтиллятор на основе кристалла $^6\text{LiKSO}_4:\text{Cu}$ (Пат. 2148837 РФ), пригодный для регистрации тепловых нейтронов. Он обладает сцинтилляциями с длиной волны 435 – 445 нм и длительностью 90 нс. Однако он нетехнологичен, поскольку проблема получения крупных однородных кристаллов $^6\text{LiKSO}_4$ не решена, обладает невысоким световыходом сцинтилляций (30 % относительно световыхода кристаллов $\text{LiI}:\text{Eu}$) и, главное, недостаточно высоким сечением взаимодействия с тепловыми нейтронами, равным 940 барн, по реакции $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$. Таким образом, сцинтиллятор $^6\text{LiKSO}_4:\text{Cu}$ обладает невысокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов. Все известные сцинтилляторы, в которых тепловые нейтроны регистрируются по реакции $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$, обладают недостаточно высокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов, не превышающей 910 барн (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Группен К. Детекторы элементарных частиц: справочное издание / К. Группен; пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с).

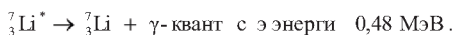
Известен комбинированный сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов на основе кристалла $\text{NaI}:\text{Tl}$ с чехлом-радиатором из борсодержащего материала, окружающего кристалл $\text{NaI}:\text{Tl}$ (Пат. 2189057 РФ). Толщина радиаторов, изготовленных из карбида или нитрида бора, достаточна для полного поглощения тепловых нейтронов яд-

рами ^{10}B . Сечение захвата тепловых нейтронов естественной смесью изотопов бора составляет 767 барн, а для чистого изотопа ^{10}B – 3837 барн. Механизм регистрации нейтронов сводится к следующему. Вначале происходит захват тепловых нейтронов ядрами ^{10}B , что вызывает ядерную реакцию (n, $\alpha\gamma$)-типа, которая протекает в две стадии:

– первая стадия:



– вторая стадия (через $\sim 10 - 1^3$ с после первой):



На первой стадии часть ядер лития образуется в возбужденном состоянии ${}^7\text{Li}^*$, они обеспечивают протекание второй стадии реакции с испусканием гамма-кванта с энергией 0,48 МэВ. Этот гамма-квант, возникший вследствие реакции (n, $\alpha\gamma$), регистрируется сцинтиллятором NaI:Tl. Входящие в состав комбинированного детектора органические сцинтилляторы не способны регистрировать тепловые нейтроны, они могут регистрировать только быстрые нейтроны по протонам отдачи. Недостатком известного сцинтиллятора (Пат. 2189057 РФ) является высокая гигроскопичность применяемого кристалла NaI:Tl, что делает его ненадежным в эксплуатации. Все известные потенциальные борсодержащие сцинтилляторы (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с.; Группен К. Детекторы элементарных частиц: справочное издание / К. Группен; пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с.; Огородников И. Н., Кружалов А. В. // Изв. вузов. Физика. 1996. Т. 39, № 11. С. 76–93) обладают невысокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов, обычно на уровне 767 барн.

Известна сцинтилляционная композиция из кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, пластика или стильбена (Пат. 2158011 РФ) для регистрации нейтронов и гамма-излучения. Однако такая сцинтилляционная композиция нечувствительна к тепловым нейтронам.

Известен сцинтиллятор для регистрации нейтронов на основе кристалла NaI:Tl с чехлом-радиатором из серебра (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с). Серебро эффективно поглощает нейтроны резонансных энергий и испускает гамма-кванты по реакции (n, γ). Последние и регистрируются кристаллом NaI:Tl. Резонансные реакции (n, γ) на естественной смеси изотопов серебра имеют сечение взаимодействия 86,3 барн для медленных и промежуточных нейтронов и 63,3 барн для тепловых нейтронов. Однако стоимость такого детектора высока из-за высоких цен на серебро. Применение изотопа ^{109}Ag , обладающего достаточно интенсивным поглощением тепловых нейтронов (сечение – 91 барн) для работы в сочетании с NaI:Tl нецелесообразно из-за малого периода его полураспада, равного всего 24,6 суткам.

Известен однокристалльный сцинтиллятор (Пат. 4482808 США) для регистрации нейтронов и гамма-лучей. Однако сцинтиллятор пригоден для регистрации быстрых нейтронов и непригоден для регистрации тепловых нейтронов.

Известна сцинтилляционная композиция из трех параллельно-последовательно соединенных сцинтилляторов (Пат. 2143711 РФ), один из которых, выполненный на основе ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла, чувствителен к тепловым нейтронам. Однако эффективность регистрации тепловых нейтронов таким сцинтиллятором, определяемая соответствующим сечением реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ (сечение равно 940 барн), невысокая.

Наиболее близким техническим решением являются сцинтилляторы на основе $\text{CaF}_2\text{:Eu}$. Они могут изготавливаться на основе керамики, например, $\text{CaF}_2\text{:Eu}$ с содержанием европия не больше 0,5 мол. % (Пат. 2058957 РФ). Сцинтиллятор пригоден для детек-

тирования ионизирующих излучений, преимущественно электронов, бета-частиц и гамма-квантов с энергией до 100 кэВ. Применение поликристаллической керамики $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ для регистрации нейтронов в Пат. 2058957 РФ не описано.

Сцинтилляторы на основе $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ изготавливаются, как правило, в виде монокристаллов (Ставиский Ю. Я., Шопарь А. В. // ПТЭ. 1962. № 5. С. 177–178.; Шульгин Б. В. [и др.] // Атомная энергия. 1993. Т. 75, вып. 1. С. 28–32.; Рогожин А. А. [и др.] // Закономерности распределения примесных центров в ионных кристаллах: сб. науч. тр. ВИС. М.: ВИС, 1977. С. 40–49.; Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005–2029.; Scintillation Detector. HarShaw, Catalogue. 1982. 112 p). Согласно вышеприведенным источникам кристаллы $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ (плотность $3,19 \text{ г/см}^3$; температура плавления 1407°C ; коэффициент преломления света 1,44; твердость по Моосу 4; $Z_{\text{эф}} = 16,5$) относятся к классу перспективных материалов для регистрации, дозиметрии и спектрометрии рентгеновского и бета-излучения на фоне гамма-излучения и нейтронов. Они обладают абсолютным энергетическим выходом сцинтилляций 8,4 % или $29 \cdot 10^3$ фотон/МэВ (что составляет ~ 50 % эффективности относительно NaI:Tl), длиной волны 435 нм, длительностью бета-сцинтилляций 800 нс и энергетическим разрешением по линии ^{137}Cs 9–10,5 %, а по линии ^{241}Am 26–30 %. Оптимальная концентрация примесей в кристаллах $\text{CaF}_2:\text{Eu}$, обеспечивающая наибольший абсолютный выход сцинтилляций, равна 0,5–0,7 мас. % (Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005–2029). Для известных кристаллов $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ световыход сцинтилляций практически стабилен в диапазоне температур от -60 до $+20^\circ\text{C}$; температурный коэффициент уменьшения световыхода сцинтилляций при $T > 20^\circ\text{C}$ равен $0,4\text{--}0,5 \text{ \%}/^\circ\text{C}$; послесвечение, измеренное с задержкой 1 мс, составляет $0,6 \cdot 10^{-6}$ %, через 30 мс его величина становится меньше, чем 10^{-9} %; эффективный коэффициент поглощения на длине волны излучения (435 нм) составляет $0,3 \pm 0,05 \text{ см}^{-1}$. Однако кристалл-сцинтиллятор $\text{CaF}_2:\text{Eu}$, обладающий высокими показателями по световыходу сцинтилляций пригоден лишь для регистрации бета-излучения и гамма-излучения. Применение кристаллов $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ в качестве сцинтиллятора для регистрации тепловых нейтронов в вышеприведенных источниках не описано.

Задачей изобретения является получение на основе кристаллов $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ сцинтилляторов для регистрации нейтронов с повышенным сечением захвата тепловых нейтронов, т. е. с более высокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов. Поставленная задача решается благодаря тому, что в известный сцинтиллятор, включающий фторид кальция, активированный европием, дополнительно вводят изотоп гелия ^3He методом термодиффузии. В итоге получают кристалл-сцинтиллятор $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, ^3\text{He})$. Эффект изобретения проявляется в том, что при дополнительном введении изотопа ^3He эффективность регистрации тепловых нейтронов кристаллами $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, ^3\text{He})$ возрастает почти в два раза по сравнению с $\text{CaF}_2:\text{Eu}$. Возрастает в связи с тем, что захват последних в кристаллах $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, ^3\text{He})$ происходит по двум каналам: (n, α)-реакции на ядрах Eu с сечением взаимодействия 4600 барн для естественной смеси изотопов европия; (n, p)-реакции на ядрах ^3He с сечением взаимодействия 4000 барн (Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений / В. П. Машкович, Л. В. Кудрявцева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 494 с).

Сущность изобретения заключается в том, что предлагаемый сцинтиллятор имеет состав, ат. %: $\text{CaF}_2 - 99,25 - 99,59$; $\text{EuF}_3 - 0,4 - 0,7$; $^3\text{He} - 0,01 - 0,05$. Уменьшение содержания активатора европия до уровня ниже 0,4 ат. % или его увеличение более 0,7 ат. % ведет к уменьшению световыхода сцинтилляций. Световыход снижается с 0,5 до 0,2–0,3 и ниже относительно NaI:Tl . Уменьшение содержания изотопов ^3He ниже 0,01 ат. % ($\sim 10^{19} \text{ ат/см}^3$) ведет к снижению эффективности регистрации тепловых нейтронов ядрами гелия из-за уменьшения их количества. Увеличение содержания изотопов гелия в

кристаллах $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He})$ выше 0,05 ат. % методом термодиффузии в принципе возможно, однако, требует большого времени и технически труднодостижимо.

Пример 1. Сцинтиллятор состава $\text{CaF}_2 - 99,25$ ат. %, $\text{EuF}_3 - 0,7$ ат. % и ${}^3\text{He} - 0,05$ ат. % получают в две стадии. На первой стадии выращивают кристаллы $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ в виде були диаметром до 45 мм и длиной 80 мм в графитовых тиглях методом Стокбаргера в вакууме. Для удаления следов кислорода в шихту добавляют фторид свинца в количестве 1 мас. %. Из центральных частей выращенной були вырезают кристалл диаметром 40 мм и высотой 6 мм. На второй стадии подготовленный кристалл помещают в специальную барокамеру, в которой в него вводят изотоп ${}^3\text{He}$ с помощью термодиффузии по методу А. Я. Купряжкина (Купряжкин А. Я., Куркин А. Д. // ФТТ. 1990. Т. 32, № 8. С. 2349–2354). В кристаллах фторида кальция реализуются междоузельные и вакансионные механизмы диффузии с достаточно низкими энергиями активации – 1,16 эВ по примесным и 2,24 эВ по собственным вакансиям – и с еще более низкими энергиями растворения – 0,5 и 0,81 эВ соответственно. Выбор режимов термодиффузии сделан по известной температурной зависимости растворимости гелия и по известной зависимости растворимости гелия в кристаллах CaF_2 от давления насыщения. Режим термодиффузии был выбран таким, чтобы содержание гелия ${}^3\text{He}$ в кристалле $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ было доведено до 0,05 ат. %. Полученные кристаллы $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He})$ обладали следующими свойствами: эффективность регистрации тепловых нейтронов – 95 %; эффективный атомный номер – $Z_{\text{эф}} = 16,5$; относительная сцинтилляционная эффективность в сравнении с NaI:Tl (по гамма-линии 662 кэВ изотопа ${}^{137}\text{Cs}$) – 52 %; спектр свечения имеет максимум при 435 нм, длительность сцинтилляций – 780 нс, причем форма кривой затухания сцинтилляций, описывается одной экспонентой; энергетическое разрешение по линии ${}^{137}\text{Cs} - 12$ %. Влияние температуры на спектр свечения монокристаллов $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He})$ незначительно: в диапазоне от -50 до $+50^\circ\text{C}$ положение максимума полосы излучения сдвигается не более, чем на 5 нм, полуширина увеличивается с ростом температуры от 25 до 30 нм соответственно, длительность нейтронных сцинтилляций (использовали ${}^{252}\text{Cf}$ с замедлителем), также как и α -сцинтилляций, составляла 780 нс. Срок службы $T_{\text{службы}}$ сцинтилляционных кристаллов $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He})$ определяется временем релаксации $T_{\text{рел}}$, в течение которого содержание гелия в кристаллах убывает в e (экспонента) раз за счет процессов диффузии. Для кристаллов $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He})$ при 300 К коэффициент междоузельной диффузии $10^{-8} - 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$. Время релаксации оценивалось по формуле:

$$t_{\text{рел}} = \frac{\pi^2}{D},$$

где r – радиус сцинтилляционного кристалла. Для $r = 2 \text{ см}$ получаем, что $T_{\text{службы}} = T_{\text{рел}} \cong 1,3 \cdot 10^9 - 1,3 \cdot 10^{10} \text{ с}$, т. е. от 40 до 400 лет. Таким образом, оценка даже по нижнему пределу дает срок службы сцинтилляционных кристаллов ~ 40 лет, а средний срок службы не менее 100 лет.

Пример 2. Сцинтиллятор состава $\text{CaF}_2 - 99,59$ ат. %, $\text{EuF}_3 - 0,4$ ат. % и ${}^3\text{He} - 0,01$ ат. %. Выращивание монокристаллов $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ с последующим введением в них изотопа ${}^3\text{He}$ методом термодиффузии и работает в тех же режимах, что были описаны в примере 1. Размеры кристалла: $\varnothing = 40 \text{ мм}$, $h = 6 \text{ мм}$. Сцинтиллятор обладает следующими свойствами: эффективность регистрации тепловых нейтронов ~ 90 %; эффективный атомный номер – $Z_{\text{эф}} = 16,5$; относительная сцинтилляционная эффективность в сравнении с NaI:Tl (по гамма-линии 662 кэВ изотопа ${}^{137}\text{Cs}$) ~ 45 %; максимум спектра свечения – 435 нм; длительность сцинтилляций – 800 нс; энергетическое разрешение по линии 662 кэВ изотопа ${}^{137}\text{Cs} - 11$ %. Рабочий диапазон температур от -50 до $+50^\circ\text{C}$. Средний срок службы 100 лет.

Пример 3. Сцинтиллятор состава $\text{CaF}_2 - 99,4$ ат. %, $\text{EuF}_3 - 0,58$ %, $^3\text{He} - 0,02$ ат. % получают также в две стадии: выращивание монокристаллов $\text{CaF}_2:\text{Eu}$, введение в $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ изотопа ^3He методом термодиффузии. Размеры кристалла: $\varnothing = 40$ мм, $h = 8$ мм. Условия получения такие же, как и в примере 1. Сцинтиллятор обладает следующими свойствами: эффективность регистрации тепловых нейтронов – 92 %; световыход сцинтилляций относительно $\text{NaI:Tl} - 0,5$; эффективный атомный номер – $Z_{\text{эф}} = 16,5$; максимум спектра свечения – 433 нм; длительность сцинтилляций – 800 нс; энергетическое разрешение по линии 662 кэВ изотопа $^{137}\text{Cs} - 12$ %. Средний срок службы – 100 лет.

Дополнительным преимуществом предлагаемых сцинтилляторов, описанных в примерах 1 – 3, является:

- способность регистрировать не только тепловые нейтроны, но и промежуточные, а также быстрые нейтроны благодаря повышенному сечению взаимодействия промежуточных и быстрых нейтронов с ядрами изотопа ^3He (десятки и единицы барн соответственно);
- высокая эффективность регистрации бета-излучения из-за несущественных потерь на обратное рассеяние; последнее обусловлено низким $Z_{\text{эф}} = 16,5$;
- способность селективно регистрировать нейтроны на гамма-фоне (при малых толщинах кристалла $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, ^3\text{He})$ вероятность регистрации гамма-излучения невелика вследствие низкого $Z_{\text{эф}} = 16,5$).

Формула изобретения

Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов, включающий фторид кальция, активированный европием, отличающийся тем, что он дополнительно содержит изотоп гелия ^3He при следующем соотношении ингредиентов, ат. %: фторид кальция – 99,25 – 99,59; фторид европия – 0,4–0,7; изотоп гелия $^3\text{He} - 0,01 - 0,05$.

Патент № 2248011 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор рентгеновского излучения / Б. В. Шульгин, Л. В. Жукова, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов. Заявл. 07.07.2003; опубл. 10.03.2005. Бюл. № 7.

Реферат

Предложен световолоконный сцинтилляционный детектор рентгеновского излучения, содержащий блок регистрации рентгеновского излучения в виде набора волоконно-оптических сцинтилляторов, передающий блок волоконно-оптической связи, выполненные в виде единого волоконно-оптического модуля, фотоприемное устройство с блоком электронной обработки сигналов в виде оптической системы пикселей.

Суть изобретения заключается в том, что единый волоконно-оптический модуль выполнен в виде цельных волокон на основе галогенидов серебра AgCl-AgBr-AgI , причем, регистрирующая часть волокон модуля содержит активирующую добавку (ионы Tl , либо Sr , либо Eu , либо Ce в количестве 0,01 – 0,001 мас. %), а передающая часть волокон модуля выполнена без активирующих добавок. Рентгеновское излучение, попадая в регистрирующую часть единого волоконно-оптического модуля, играющего роль приемного сцинтилляционного экрана, вызывает появление сцинтилляций с длиной волны ~ 400 нм и длительностью 20 нс, что обеспечивает визуализацию рентгеновского излучения. Возникающие световые вспышки через передающую часть единого волоконно-оптического модуля поступают практически без потерь в фотоприемное устройство с блоком электронной обработки сигналов в виде оптической системы пикселей.

Описание изобретения

Изобретение относится к области детектирования и визуализации рентгеновского излучения и электронных пучков и может быть использовано в дозиметрической практике в системах радиационного мониторинга, особо в интроскопах медицинского назначения (томография, рентгенография, сцинтиграфия), а также в рентгеновских интроскопических системах неразрушающего радиационного контроля изделий автомобилестроения, кораблестроения, самолетостроения и ответственных элементов космической техники.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор рентгеновского излучения, включающий в себя волоконно-оптический сцинтилляционный датчик (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с), чувствительный элемент которого содержит нити из пластикового сцинтиллятора диаметром 1 мм, заполняющие люцитовый каркас размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}^3$. Такой световолоконный сцинтилляционный детектор из-за низкого эффективного атомного номера ($Z_{\text{эф}} < 6$) имеет низкую эффективность регистрации рентгеновского излучения и поэтому не предназначен для использования в медицинских интроскопах и томографах из-за повышенных дозовых нагрузок на пациентов и обслуживающий персонал. Он не пригоден для работы в медицинских и промышленных детекторных системах неразрушающего контроля (дефектоскопах) из-за низкой чувствительности к рентгеновскому излучению.

Известны световолоконные детекторы рентгеновского и гамма-излучения на основе кварцевых волокон (Dianov E. M. [et al.]. Electronics letters. 1995. Vol. 31, № 17. P. 1490 – 1491.; Dianov E. M. [et al.]. Electronics letters. 1999. Vol. 35, № 2. P. 170 – 171) и на основе волокон KU или KS-4V (Tomashuk A. L. [et al.]. // IEEE Transaction on Nuclear Science. 1998. Vol. 45, № 3, part 3. P. 1576–1579). Однако они являются детекторами интегрального абсорбционного типа и пригодны только для измерения дозы рентгеновского и гамма-излучения по интенсивности наведенных излучением полос в спектрах поглощения волокон. Они чувствительны только к высоким дозам излучения (от десятков

грей до мегагрей) и совершенно не пригодны для работы в режиме реального времени. Они не пригодны для получения и обработки информации, а тем более для передачи результатов визуализации изображения в медицинских и промышленных томографах.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор гамма- и рентгеновского излучения на основе йодида натрия по Пат. 4586785 США. Недостатком такого сцинтилляционного детектора является его высокая гигроскопичность и малая длина световолокон (несколько миллиметров). Из-за таких коротких волокон невозможна передача результатов визуализации изображения в медицинских и промышленных томографах на расстояния, превышающие несколько миллиметров.

Известен кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-2 (Пат. 2066464 РФ), отличающийся пластичностью, малым временем высвечивания, повышенным эффективным атомным номером ($Z_{\text{эф}} = 42,7-42,8$) и соответственно повышенной чувствительностью к рентгеновскому излучению в сравнении с чувствительностью пластиковых органических сцинтилляторов, а также высокой прозрачностью в видимом и инфракрасном диапазонах. Однако применение кристаллов ЛИЯ-2 в виде волоконно-оптических сцинтилляторов для регистрации рентгеновского излучения и передачи результатов визуализации излучения в Пат. 2066464 РФ не описано.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор (Свид-во Роспатента № 1756 от 16.02.1996 на полезную модель «Волоконно-оптический трековый детектор») из набора сцинтилляционных волокон на основе галогенидов серебра диаметром 0,05 мм (диаметр всей сборки в ляситовом каркасе – 50 мм), в котором в качестве фотоприемника применен электронно-оптический преобразователь с микроканальной пластиной. Детектор пригоден только для определения (визуализации) треков (следов) заряженных частиц большой энергии, однако, известный световолоконный детектор не имеет канала передачи результатов визуализации рентгеновского излучения. Он непригоден для передачи результатов визуализации рентгеновского излучения в системах компьютерной медицинской томографии или в промышленных детектирующих комплексах (интроскопах) неразрушающего контроля.

Известны световолоконные сцинтилляционные детекторы на основе блоков из органических сцинтилляционных волокон различного сечения, в частности, круглого (Компания Шотт, Майнц Германия; CERN-Courier, Scintillating Fibers, 1990. Vol. 30, № 8. P. 23) или сотоподобного шестиугольного сечения (Компания Kyowa Gas, Япония; CERN-Conrier, Scintillating Fibers, 1990. Vol. 30, № 8. P. 23). Такие детекторы обеспечивают высокое временное (наносекунды) и пространственное (20 – 60 мкм) разрешение и пригодны для использования в экспериментах, где требуется регистрации потоков излучения с большей плотностью и соответственно большая скорость счета. Недостатком таких органических детекторов является их низкий эффективный атомный номер ($Z_{\text{эф}} < 6 - 8$) и, как следствие этого, низкая эффективность регистрации и визуализации рентгеновского излучения и соответственно низкая эффективность передачи результатов визуализации ионизирующего излучения на расстояние.

Известны световолоконные сцинтилляционные детекторы (калориметры), представляющие собой сцинтилляционные волокна, включенные в свинцовую матрицу с раздельным считыванием отдельных сцинтилляционных волокон (Lateral Shower Profiles In a Lead Scintillating – Fiber Calorimeter / D. Acosta [et al.]. NIM. 1992. Vol. A316. P. 184). Такие детекторы пригодны для регистрации частиц высоких энергий. Однако используемые в известных световолоконных сцинтилляционных детекторах волокна изготовлены из органического материала, поэтому имеют низкий эффективный атомный номер и соответственно низкую эффективность регистрации рентгеновского излучения. Они не пригодны для применения в медицинских томографах. Их применение в промышленных томографах или интроскопах также ограничено из-за низкой эффективности регистра-

ции рентгеновского излучения и их низкой температуры плавления, и соответственно, низкой температурной устойчивостью при эксплуатации.

Известен сцинтилляционный световод (Пат. 2154290 РФ). Световод используют для обнаружения и измерения ионизирующего излучения (рентгеновского, гамма-, альфа- и электронного). Состав сцинтилляционного световода – твердые растворы на основе галогенидов серебра, мас. %: AgCl 17,980 – 27,000; AgBr 82,000 – 72,499; AgI 0,010 – 0,500, которые активированы добавками либо таллия, либо хрома, либо европия, либо церия в количестве 0,01 – 0,001 мас. %. Световоды получают длиной до 50 м и более. Они негигроскопичны, высоко пластичны, нетоксичны, имеют высокую плотность (6,4 г/см³) и эффективный атомный номер ($Z_{эф} = 42,7\text{--}42,8$); обладают малым временем свечения (20 нс) и имеют удобный для регистрации спектр свечения с максимумом при 400 нм. Рабочий температурный диапазон соответствует области от –60 до +200°C. Световод является сцинтиллирующим по всей длине, вследствие наличия в нем первично флюоресцирующих добавок в виде либо таллия, либо хрома, либо европия, либо церия. Последние снижают прозрачность световода, ухудшают пространственно разрешающую способность световода и в целом ухудшают передачу результатов визуализации рентгеновского излучения. Однако в Пат. 2154290 РФ описан только состав сцинтилляционного световода. Устройства, использующие сцинтилляционные световоды известного состава для визуализации рентгеновского излучения, в патенте не названы, не описаны.

Известен волоконно-оптический сцинтилляционный детектор (Пат. 2190240 РФ). Его сущность заключается в следующем: сцинтиллятор датчика выполнен в виде сцинтилляционного волоконно-оптического кабеля, состоящего из чехла-оболочки и витой пары или набора нескольких витых пар из волоконно-оптических нитеподобных сцинтилляторов-световодов, один из которых, неорганический сцинтиллятор, изготовленный из галогенидов серебра (AgCl–AgBr) с активирующими добавками, чувствителен к гамма-излучению и замедленным нейтронам, второй, органический сцинтиллятор, выполнен из пластика (CH)₂, чувствителен к быстрым нейтронам. Выносной конец сцинтилляционного кабеля снабжен отражателем света, а другой конец – оптически соединен с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). По сути детектор включает в себя сцинтилляционный волоконно-оптический кабель, отражатель света с одной его стороны и ФЭУ с другой. Такой детектор пригоден только для регистрации излучения в каналах, щелях, лабиринтах, трубах, однако он непригоден для визуализации изображений регистрируемых радиационных полей, и передачи радиационных интроскопических картин из-за того, что считывание информации ведется только одним обычным (не многоканальным) фотоэлектронным умножителем. Детектор не обеспечивает раздельного считывания отдельных сцинтилляционных волокон (особенно при большом их количестве) и не обеспечивает высокого пространственного разрешения, необходимого для качественного получения и передачи информации по визуализации изображений, создаваемых рентгеновским излучением.

Наиболее близким к заявляемому является световолоконный сцинтилляционный детектор (Salomon M. New Measurements of Scintillating Fibers Coupled To Multianode Photomultipliers / M. Salomon. IEEE Trans. Nucl. Sci. 1992. Vol. 39. P. 671). Такой детектор содержит блок сцинтилляционных волокон (до нескольких тысяч волокон) и фотоприемное устройство, либо в виде многоканального ФЭУ, либо в виде оптической системы пикселей, обеспечивающее раздельное считывание отдельных сцинтилляционных волокон. Известное устройство обеспечивает регистрацию треков быстрых заряженных частиц в калориметрах различного типа. Однако, известный световолоконный сцинтилляционный детектор, содержащий блоки сцинтилляционных волокон из органических материалов, имеющих невысокий эффективный атомный номер и, соответственно, невысокую эффективность регистрации и визуализации рентгеновского излучения не может

быть рекомендован для использования в качестве датчиков или чувствительных элементов в томографах медицинского типа из-за требуемых для обеспечения необходимой чувствительности недопустимо высоких для пациентов доз рентгеновского облучения. Дополнительным недостатком известного световолоконного сцинтилляционного детектора при его использовании в промышленных системах неразрушающего контроля является низкая термическая устойчивость органических блоков сцинтилляционных волокон. Кроме того, известный детектор содержит органические сцинтиллирующие добавки и сместители спектра по всей длине волокна, что снижают его прозрачность при передаче на большие расстояния информации к фотоприемному устройству, включающему в себя оптическую систему пикселей или многоканальный фотоэлектронный умножитель. Например, в сцинтилляционных волокнах или стержнях, в которых в качестве сместителя-формирователя спектра свечения используют ВВQ-поглотитель, растворенный в полиметилметакрилате, интенсивность света уменьшается в два раза при их длине 1–1,5 м (Salomon M. New Measurements of Scintillating Fibers Coupled To Multianode Photomultipliers / M. Salomon. IEEE Trans. Nucl. Sci. 1992. Vol. 39. P. 671).

Заявляемое устройство (блок схема приведена на фиг. 1) – световолоконный сцинтилляционный детектор рентгеновского излучения – содержит блок регистрации рентгеновского излучения в виде набора волоконно-оптических сцинтилляторов 1, передающий блок волоконно-оптической связи 2, выполненные в виде единого волоконно-оптического модуля, фотоприемное устройство 3 с блоком электронной обработки сигналов в виде оптической системы пикселей. Единый волоконно-оптический модуль выполнен в виде цельных волокон на основе галогенидов серебра AgCl-AgBr-AgI , причем, регистрирующая часть 1 модуля содержит активирующую добавку (один из элементов: таллий, хром, европий, церий и др. в количестве 0,01 – 0,001 мас. %), а передающая часть 2 модуля выполнена без активирующих добавок.

Регистрирующая часть 1 единого волоконно-оптического модуля (блок регистрации) обеспечивает регистрацию рентгеновского излучения и его визуализацию. Она фактически служит сцинтилляционным экраном, на котором формируется изображение, несущее информацию о структуре и дефектах анализируемого объекта. Передающая часть 2 единого волоконно-оптического модуля (передающий блок волоконно-оптической связи), выполненная в виде волоконно-оптического кабеля на основе галогенидов серебра без активирующих добавок (длиной до нескольких метров), обеспечивает передачу информации к фотоприемному устройству 3 с блоком электронной обработки сигналов.

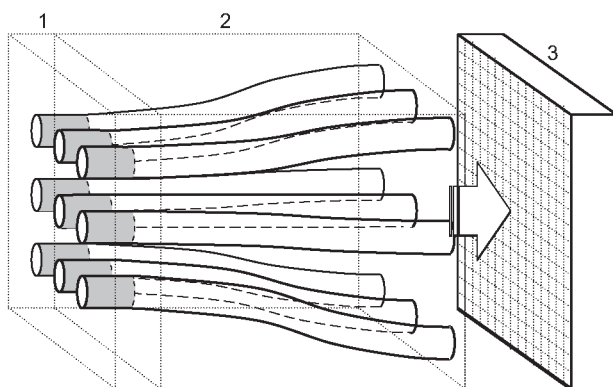
Устройство работает следующим образом. Рентгеновское излучение, прошедшее через анализируемый объект (через диагностируемую часть человеческого тела или через промышленное изделие) и несущее информацию об объекте анализа, попадая в регистрирующую часть 1 единого волоконно-оптического модуля (блок регистрации), вызывает в ней появление коротких световых вспышек (сцинтилляций) с длиной волны ~ 400 нм и длительностью 20 нс. Таким образом, регистрирующая часть 1 обеспечивает визуализацию рентгеновского излучения, играя роль приемного сцинтилляционного экрана. Возникающее на экране изображение через передающую часть 2 единого волоконно-оптического модуля из неактивированных волокон передается в фотоприемное устройство 3 с блоком электронной обработки сигналов в виде оптической системы пикселей (или в виде многоэлементного фотоэлектронного умножителя).

В связи с тем, что сцинтилляционные волокна на основе галогенидов серебра имеют в несколько раз более высокую плотность ($6,4 \text{ г/см}^3$) в сравнении с плотностью ранее применяемых органических волокон и в 6–7 раз более высокий эффективный атомный номер, чем у органического пластика, эффективность регистрации (визуализации) рентгеновского излучения предлагаемым световолоконным сцинтилляционным детектором повышается в несколько раз.

Дополнительным преимуществом предлагаемого световолоконного сцинтилляционного детектора является высокая прозрачность передающей (кабельной) части блока сцинтилляционных волокон в ИК-диапазоне (до 40 мкм), обеспечивающая возможность работы предлагаемого устройства в сочетании с действующими линиями волоконно-оптической связи в качестве терминального устройства сети радиационного мониторинга.

Формула изобретения

Световолоконный сцинтилляционный детектор рентгеновского излучения, содержащий блок регистрации рентгеновского излучения в виде набора волоконно-оптических сцинтилляторов, передающий блок волоконно-оптической связи, выполненные в виде единого волоконно-оптического модуля, фотоприемное устройство с блоком электронной обработки сигналов в виде оптической системы пикселей, отличающийся тем, что единый волоконно-оптический модуль выполнен в виде цельных волокон на основе галогенидов серебра AgCl-AgBr-AgI , причем, регистрирующая часть содержит активирующую добавку, а передающая часть выполнена без активирующих добавок.



Фиг. 1

Патент № 2248588 РФ. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, А. И. Коссе, В. И. Соломонов, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 25.04.2003; опубл. 20.03.2005. Бюл. № 8.

Реферат

Предложен сцинтилляционный детектор с PIN-фотодиодной регистрацией с повышенной чувствительностью к бета-, гамма- и нейтронному излучению.

Суть изобретения заключается в том, что, наряду со сцинтилляционным кристаллом $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$ или кристаллом стильбена, кремниевым PIN-фотодиодом и сместителем спектра, детектор дополнительно содержит светособирающий световод, а так же корпус-коллиматор, причем сместитель спектра и световод выполнены как единый элемент на базе легированных или чистых кристаллов фторида лития или натрия, подвергнутых радиационно-лучевой обработке. Применение сместителя спектра позволяет сдвинуть область свечения сцинтиллятора $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$ ($\lambda_1 \sim 420$ нм) или стильбена ($\lambda_1 \sim 390$ нм) в область с $\lambda_2 = 670$ нм, приближающуюся к области максимальной чувствительности PIN-фотодиода. Применение светособирающего световода позволяет использовать сцинтилляционные кристаллы $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$ или стильбена с увеличенной поверхностью рабочей грани, превышающей площадь входного окна PIN-фотодиода в несколько раз. Применение многослойного коллиматора, обеспечивающего коллимацию, как гамма-излучения, так и нейтронов, повышает отношение сигнал/шум и чувствительность детектора, обеспечивает направленность измерений.

Описание изобретения

Заявляемое устройство относится к детекторам бета-, гамма-, и нейтронных излучений и может быть использовано для обнаружения источников нейтронов и радиоактивных веществ в системах индивидуальной дозиметрии и дозиметрии окружающей среды, в системах радиационного мониторинга местностей, морских акваторий, в системах таможенного радиационного контроля ядерных материалов, в системах обнаружения, учета и контроля ядерных материалов на границах страны и в других международных пунктах въезда, а также в любых зонах контроля, оговоренных международными соглашениями.

Известен сцинтилляционный детектор бета- и гамма-излучения (Горн Л. С. Совершенные приборы для измерения ионизирующих излучений / Л. С. Горн, Б. И. Хазанов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с), в котором в качестве фотоприемного устройства используют фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), а в качестве сцинтиллятора используют кристалл CsI:Tl . Последний имеет плотность $4,51 \text{ г/см}^3$, световыход сцинтилляций до 0,45 относительно такового для NaI:Tl , максимум свечения 565 нм, длительность сцинтилл-импульса 450 нс. Однако недостатками такого сцинтилляционного детектора являются большие габариты и вес фотоприемного устройства, требуемое для него высоковольтное питание, а также относительно невысокий световыход и большая длительность сцинтилляций.

Известен сцинтилляционный детектор бета- и гамма-излучения (Пат. 3382368 США), включающий сцинтилляционный кристалл BaF_2 (плотность $4,88 \text{ г/см}^3$) и фотоэлектронный умножитель. Детектор имеет малую длительность сцинтилляций (< 50 нс). Однако максимум спектра свечения BaF_2 лежит в ультрафиолетовой области спектра, $\lambda = 220$ нм, т. е. кристалл BaF_2 в режиме обычной фотодиодной регистрации совершенно неэффективен из-за весьма низкой чувствительности PIN-фотодиодов в области длин волн менее 500 нм. Недостатком известного сцинтилляционного детектора на основе BaF_2 является также то, что используемый в нем в качестве фотоприемника ФЭУ имеет

большие размеры и вес и требует высоковольтного питания, что увеличивает габариты, вес и стоимость детектора в целом.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов (Пат. 3382368 США), включающий замедлитель из полиэтилена или полипропилена, сцинтиллятор ${}^6\text{LiI:Eu}$ и ФЭУ. Сцинтиллятор имеет плотность $4,06 \text{ г/см}^3$, сцинтилляционную эффективность $0,2\text{--}0,3$ относительно таковой для NaI:Tl и длину волны люминесценции 460 нм . Однако такой сцинтилляционный детектор не эффективен в устройствах с фотодиодной регистрацией и, кроме того, он имеет очень большую длительность сцинтилляции $\tau = 1,4 \text{ мкс}$, требует высоковольтного питания для ФЭУ, имеет большие габариты и вес фотоприемного устройства.

Известен сцинтилляционный детектор быстрых нейтронов (Пат. 3398278 США), включающий замедлитель из полиэтилена, сцинтиллятор ZnS:Ag и ФЭУ. Сцинтиллятор имеет световыход, в 2 раза (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с) превышающий световыход NaI:Tl , максимум спектра излучения сцинтиллятора расположен при 450 нм . Однако такой детектор имеет большую длительность сцинтилляций $\sim 1\text{--}2 \text{ мкс}$, т. е. не обеспечивает высокой нагрузочной способности, имеет большие габариты и вес фотоприемного устройства.

Известен сцинтилляционный детектор (Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029.; Тинг С. Установка ЛЗ, ЛЭП (ЦЕРН): препринт / С. Тинг. Л.: ЛИЯФ, 1987. 52 с), включающий сцинтилляционный кристалл $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и фотодиод, используемый в экспериментах в Европейском ядерном центре (ЦЕРН) на ускорителях на встречных пучках. Сцинтилляционный детектор имеет максимум свечения в зеленой области спектра 540 нм , что не обеспечивает высокого коэффициента согласования с фотоприемником в области максимальной чувствительности PIN-фотодиода (инфракрасная область $800\text{--}1000 \text{ нм}$). Известный детектор имеет низкий световыход на уровне $0,1$ относительно такового для NaI:Tl и большую длительность свечения, $\tau = 300 \text{ мкс}$, что не позволяет обеспечить высокую нагрузочную способность детектора.

Известны сцинтилляторы на основе легированных или чистых кристаллов LiF и NaF с центрами окраски LiF:Sc , LiF:Sr , LiF:U,Cu , NaF:U,Cu (Сцинтилляторы на основе кристаллов LiF и NaF с центрами окраски / Д. В. Райков [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. трудов. Екатеринбург: ГОУ УГТУ–УПИ, 2002. Вып. 10. С. 4–10) с основной полосой свечения в области $600\text{--}750 \text{ нм}$ (максимум 670 нм) и длительностью сцинтилляций порядка наносекунд. Красная полоса свечения $660\text{--}750 \text{ нм}$ сцинтилляторов является основной, ее интенсивность в $3\text{--}8$ раз превышает интенсивность дополнительных сине-зеленых полос свечения в области $440\text{--}520 \text{ нм}$. Природа этих полос связана в основном с центрами окраски F_2 -типа (670 нм) и F_3^+ -типа ($440\text{--}520 \text{ нм}$). Однако применение сцинтилляторов на центрах окраски в легированных или чистых кристаллах LiF и NaF известно только для регистрации импульсных электронных пучков. Возможное применение таких кристаллов LiF и NaF в качестве сместителей спектров и световодов нигде не описано.

Известен сцинтилляционный детектор фирмы SCIONIX Holland (Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SRD–200. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992. 2 с) с фотодиодной регистрацией, пригодный для регистрации рентгеновского ($> 60 \text{ кэВ}$) и гамма-излучения в промышленных и медицинских целях. Детектор имеет размеры: диаметр – 40 мм , высота – 50 или 70 мм . Он содержит кристалл CsI:Tl $10 \times 10 \times 10 \text{ мм}^3$, максимум спектра люминесценции которого расположен при 565 нм , и кремниевый PIN-фотодиод. Однако известный сцинтилляционный детектор с фотодиодной регистрацией (Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SRD–200. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992. 2 с) обладает большой длительностью сцинтиллирования, $\tau = 450 \text{ мкс}$, т. е. невысокой за-

грузочной способностью, и главное, имеет малые размеры чувствительной поверхности сцинтиллятора – всего 1 см^2 , и малый чувствительный объем сцинтиллятора, равный 1 см^3 , поскольку имеет размеры $10 \times 10 \times 10 \text{ мм}^3$, диктуемые размерами приемного окна PIN-фотодиода, что не обеспечивает высокой чувствительности к рентгеновскому и гамма-излучению. Кроме того, детектор с кристаллом CsI:Tl не пригоден для регистрации нейтронов и не обеспечивает осевой направленности измерений: из-за отсутствия коллиматора он регистрирует гамма-кванты, поступающие не только через торцевую рабочую поверхность сцинтилляционного кристалла, но и через боковую и тыльную поверхности кристалла CsI:Tl.

Из всех известных сцинтилляционных детекторов нейтронного и гамма-излучения наиболее близким к заявляемому является устройство (Пат. 2142147 РФ) со сцинтилляционным кристаллом, кремниевым PIN-фотодиодом и с расположенным между сцинтилляционным кристаллом и PIN-фотодиодом сместителем спектра в виде сцинтиллирующей пленки (или тонкого сцинтиллирующего кристалла). В известном детекторе (Пат. 2142147 РФ) при регистрации гамма-излучения для повышения эффективности регистрации излучения и грузочной способности в качестве сцинтиллятора используют кристалл $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$, у которого амплитуда сцинтилляций с максимумом спектра 420 нм и длительностью импульса 20 нс (в 200 раз более короткой, чем у CsI:Tl) превышает амплитуду сцинтилляций кристалла CsI:Tl. В качестве сцинтиллятора при регистрации нейтронов в детекторе (Пат. 2142147 РФ) используют кристалл стибьбена с $\lambda \sim 390 \text{ нм}$ и длительностью сцинтилляций $\sim 2 \text{ нс}$. Для того, чтобы сцинтилляции кристалла $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$ или кристалла стибьбена с $\lambda = 420 \text{ нм}$ и 390 нм соответственно могли быть зарегистрированы кремниевым PIN-фотодиодом, чувствительным к световым импульсам с длиной волны в области 500 – 1100 нм (максимум в области 800 – 1000 нм (Hamamatsu Technical Data Sheet $10 \times 10 \text{ мм}^2$ Sensitive area PIN Silicon photocells S1723, S1790 Series.; Photodiode, Si, pIn. «РЕСОН» LTD. Company Moscow. Реклама фирмы «Рекон», Москва, 1994)), они должны быть преобразованы в более длинноволновые сцинтилляции. Такое преобразование выполняет сместитель спектра, не затягивающий при этом длительности сцинтилляционного импульса. Сместителем спектра в детекторе (Пат. 2142147 РФ) является сцинтиллирующий органический борсодержащий состав $(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})_2\text{B}_{10}\text{H}_{12}$ (Авт. свид-во 1550925 СССР; Авт. свид-во 1351078 СССР) с максимумом спектра свечения в области 520 – 560 нм и длительностью сцинтиимпульсов 0,62 нс.

Недостатком известного детектора (Пат. 2142147 РФ) является то, что сместитель спектра (состав $(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})_2\text{B}_{10}\text{H}_{12}$) преобразует синее ($\lambda \sim 420 \text{ нм}$ или 390 нм (для стибьбена)) излучение сцинтиллятора в зелено-желтое ($\lambda \sim 520 - 560 \text{ нм}$), а не в красное-инфракрасное, которое необходимо для обеспечения высокого коэффициента согласования со спектральной чувствительностью PIN-фотодиода, имеющей максимум в области чувствительности 800 – 1000 нм. По этой причине известный детектор (Пат. 2142147 РФ) обладает недостаточно высокой чувствительностью. Недостатком является также то, что размеры чувствительной поверхности сцинтилляционных кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$ или стибьбена в устройстве (Пат. 2142147 РФ) ограничены размерами PIN-фотодиода $10 \times 10 \text{ мм}^2$, что не обеспечивает необходимой чувствительности детектора к гамма-излучению и нейтронам при решении задач обнаружения слабых потоков нейтронного и гамма-излучения или при решении задач обнаружения фоновых аномалий или просто при измерениях уровня фона или изменений (временных) уровня фона.

Предлагаемым изобретением решается задача повышения чувствительности сцинтилляционного детектора с фотодиодной регистрацией к гамма-излучению и нейтронам.

Заявляемое устройство, предлагаемое для решения задачи повышения уровня чувствительности сцинтилляционных детекторов с PIN-фотодиодной регистрацией к гамма- и нейтронному излучению, содержащее сцинтилляционный кристалл, сместитель

спектра, светособирающий световод и фотоприемное устройство в виде PIN-фотодиода, размещенные в корпусе-коллиматоре, обеспечивает повышение чувствительности к гамма-излучению или нейтронам в несколько раз. Блок схема заявляемого устройства приведена на фиг. 1. Устройство содержит сцинтилляционный кристалл 1, находящийся с ним в оптическом контакте сместитель спектра 2 вместе со светособирающим световодом 3, который находится в оптическом контакте с PIN-фотодиодом 4. Все эти элементы детектора помещены в единый корпус 5, играющий роль коллиматора, с крышкой 6.

Сущность изобретения заключается в том, что, благодаря применению светособирающего световода, как в случае регистрации гамма-излучения, так и в случае регистрации нейтронов, размеры сцинтилляционного кристалла 1, в частности, площадь воспринимающей излучение рабочей грани сцинтилляционного кристалла не лимитируется (не ограничена) размерами входного окна PIN-фотодиода. Площадь рабочей грани может быть на порядок больше, что увеличивает чувствительность датчика в несколько раз. Отличительной особенностью предлагаемого изобретения является также наличие совершенно новой конструкции для важнейшего элемента устройства: сместитель спектра и световод выполнены в виде цельного неразделяющегося блока, в виде единой гетероструктуры на базе одного и того же кристалла (например, легированного или чистого кристалла LiF или NaF). Последнее полностью исключает потери света на границе сместитель спектра – светособирающий световод. Роль сместителя спектра играет тонкий слой (20 – 70 мкм) кристаллов LiF или NaF (легированных или чистых), насыщенный F₂-центрами, получаемый путем радиационно-лучевой обработкой поверхности кристаллов импульсными пучками электронов с энергией до 180 кэВ. Чувствительность детектора повышена также за счет применения коллиматора 5, обеспечивающего осевую направленность измерения и повышение отношения сигнал/шум за счет отсеки шумового излучения, поступающего в сцинтилляционный кристалл сбоку и с тыла.

Устройство работает в двух возможных функциональных режимах (регистрация гамма-излучения или нейтронов) следующим образом. В случае регистрации гамма-излучения в качестве сцинтилляционного кристалла используют кристалл Lu₂SiO₅:Ce диаметром до 4 см и более (т. е. с площадью рабочей грани ~ 12,6 см² и более). В кристалле возникают яркие быстрые световые вспышки (сцинтилляции) с длительностью 20 нс. Их спектр свечения расположен в синей области с максимумом при 420 нм. Далее сместитель спектра в виде тонкого сцинтиллирующего слоя F₂-центров окраски (получаемого методом радиационно-лучевой обработки поверхности) и световод, изготовленные в виде единого блока на одной и той же базе легированных или чистых кристаллов LiF и NaF преобразуют коротковолновое синее λ_1 -излучение в длинноволновое красное λ_2 -излучение (где $\lambda_1 = 420$ нм, а $\lambda_2 = 670$ нм) и направляют красное излучение на чувствительный к этому излучению PIN-фотодиод, который работает либо в счетном, либо в спектрометрическом режимах, и дает информацию либо о мощности дозы, либо о спектре гамма-излучения. Коэффициент согласования спектральной чувствительности PIN-фотодиода при регистрации излучения с $\lambda = 670$ нм в 2 – 3 раза превышает таковой для прототипа и аналога, в которых фотодиодом регистрировалось излучение с $\lambda = 520$ – 565 нм.

В случае режима регистрации нейтронов в качестве сцинтиллирующего кристалла используют кристалл стильбена, обладающий синим свечением. Сместитель спектра преобразует синее свечение стильбена ($\lambda_1 = 390$ нм) в красное свечение приповерхностных слоев F₂-центров окраски ($\lambda_2 = 670$ нм) легированных или чистых кристаллов (Li,Na)F, которое через светособирающий световод фиксируется PIN-фотодиодом.

Повышенное отношение сигнал/шум и соответственно повышенная чувствительность детектора обеспечивается дополнительно с помощью корпуса детектора, играющего одновременно роль коллиматора как в случае регистрации нейтронного, так и в случае регистрации гамма-излучения. Корпус коллиматора состоит из слоев водородсо-

держающих материалов для коллимации нейтронов и материалов с высоким эффективным атомным номером (свинец, сталь) для обеспечения коллимации гамма-квантов.

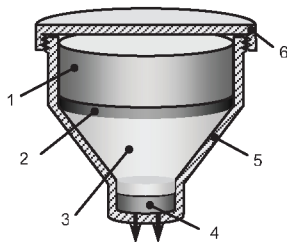
Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного детектора с фотодиодной регистрацией является повышенная радиационная стойкость сместителя спектра: облучение легированных и нелегированных кристаллов (Li,Na)F гамма-излучением до доз 10^4 – 10^5 Зв и выше повышает концентрацию F₂-центров свечения и соответственно повышает эффективность сместителя спектра на основе кристаллов LiF, NaF, LiF:Sc, LiF:Sr, LiF:U,Cu, NaF:U,Cu.

Формула изобретения

1. Сцинтилляционный детектор, включающий сцинтиллятор, сместитель спектра и PIN-фотодиод, отличающийся тем, что дополнительно содержит светособирающий световод и корпус-коллиматор, причем сместитель спектра и светособирающий световод выполнены в виде единого блока на основе легированных или чистых кристаллов фторидов лития или натрия.

2. Сцинтилляционный детектор по п. 1, отличающийся тем, что в качестве сместителя спектра используют приповерхностные слои легированных или чистых кристаллов фторидов лития или натрия, насыщенные F₂-центрами свечения с помощью радиационно-лучевой обработки поверхности кристаллов, а оставшуюся часть легированных кристаллов фторидов лития или натрия используют в качестве светособирающего световода.

3. Сцинтилляционный детектор по п. 1, отличающийся тем, что его корпус-коллиматор обеспечивает коллимацию как нейтронного, так и гамма-излучения.



Фиг. 1

Патент № 2251124 РФ. Спектрометрический датчик электронного и бета-излучения / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, Т. С. Королева. Заявл. 14.10.2003; опубл. 27.03.2005. Бюл. № 12.

Реферат

Предложен сцинтилляционный датчик электронного и бета-излучения, предназначенный для регистрации и определения энергии электронного и бета-излучения, способный работать в режиме реального времени и применяемый в дозиметрической и таможенной практике для идентификации источников, электронного и бета-излучения. Предложенный датчик способен также регистрировать позитронное излучение.

Суть изобретения заключается в том, что сцинтиллятор, выполненный в виде одномерного сцинтилляционного экрана, дополнительно содержит клинообразный преобразователь излучения, сделанный из вещества с низким эффективным атомным номером и имеющий вогнутую форму, обеспечивающую линейную зависимость преобразования энергии регистрируемого излучения в величину пробега. Свечение сцинтиллятора воспринимается фотоприемником, выполненным в виде одномерной фоточувствительной линейки, а тракт обработки сигналов включает схему для определения местоположения крайней светящейся ячейки одномерного сцинтилляционного экрана.

Подобная конструкция характеризуется высокой чувствительностью к электронному и бета-излучению и позволяет для обеспечения спектрометрических функций устройства использовать простую схему обработки сигналов, в отличие от аналогов, где используются сложные схемы с высокими требованиями к линейности преобразования сигналов.

Описание изобретения

Изобретение относится к области датчиков ионизирующих излучений, чувствительных к электронному и бета-излучению, предназначенных для определения энергии электронного и бета-излучения и применяемых в дозиметрической и таможенной практике для идентификации источников, электронного и бета-излучения, а также при работе с радиоизотопами в медицинской диагностике и терапии.

Известен сцинтилляционный детектор ядерных излучений (Пат. 3688118 США), который содержит два сцинтилляционных датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам, к электронному и бета-излучению и нейтронам, а второй сцинтилляционный датчик чувствителен только к заряженным частицам, к электронному и бета-излучению.

Однако ни один из этих сцинтилляционных датчиков электронного и бета-излучения не пригоден для идентификации их энергии, поскольку каждый из них работает только в счетном режиме.

Известны сцинтилляционные датчики электронного и бета-излучения на основе органических материалов (Шрам Э. Органические сцинтилляторы / Э. Шрам, Р. Ломбер. М.: Атомиздат, 1967. 184 с). Органические сцинтилляторы, уступая неорганическим по термической устойчивости, обладают рядом преимуществ: они обладают малой длительностью сцинтилляций и являются быстрыми сцинтилляторами нано- и пикосекундного диапазона. Они, в отличие от неорганических сцинтилляторов, пригодны для регистрации супермягкого электронного и бета-излучения.

Однако органические сцинтилляционные датчики работают в счетном режиме и не обеспечивают спектрометрии электронного и бета-излучения. Использование органических сцинтилляторов в сцинтилляционных спектрометрах ограничено из-за их крайне низкого энергетического разрешения (несколько десятков процентов) и из-за необходимости применения сложных спектрометрических электронных трактов.

Известен сцинтилляционный датчик электронного и бета-излучения в виде последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и световода из органического водородсодержащего вещества-сцинтиллятора на основе стилибена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, а также электронному и бета-излучению (Пат. 2088952 РФ).

Однако известный сцинтилляционный датчик по Пат. 2088952 РФ применяется только в счетном режиме. Возможность его применения для определения энергии электронного и бета-излучения ограничена из-за низкого энергетического разрешения используемых в нем материалов: энергетическое разрешение кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ обычно составляет 15 – 20 %, а органического компонента сцинтилляционного датчика – десятки процентов. Кроме того, известный сцинтилляционный датчик для определения энергии требует применения сложного спектрометрического электронного тракта.

Известен сцинтилляционный датчик, в частности, сцинтилляционный датчик электронного и бета-излучения (Пат. 5514870 США). Сцинтилляционный датчик содержит чистый кристалл CsI и быстрый пластический сцинтиллятор NE102A. В качестве фотоприемника используют фотоумножитель. При регистрации падающей радиации световые сцинтилляции от обоих сцинтилляторов: пластика и кристалла CsI, поступают на фотоумножитель, сигналы от которого обрабатываются электронным трактом.

Однако тракт обработки сигналов известного датчика оказывается сложным. Он включает в себя анализатор импульсов, временной селектор с короткими и длинными временными воротами. Детектор при анализе вида падающей радиации обеспечивает высокое временное разрешение (3 нс), задаваемое пластиком. Однако при определении энергии падающего электронного или бета-излучения временное разрешение датчика оказывается недостаточно высоким, для чистого кристалла CsI оно составляет 30 нс.

Наиболее близким к заявляемому является сцинтилляционный датчик электронного и бета-излучения, описанный в работе (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с). Датчик содержит сцинтиллятор, фотоприемник и тракт обработки сигналов. В качестве сцинтиллятора в известном устройстве применяют кристаллы антрацена, обладающие малым временем высвечивания (до 4 нс) и не требующие в отличие от кристаллов NaI:Tl герметичной упаковки. В качестве фотоприемника применяют фотоэлектронный умножитель. Сцинтиллятор выбирается такого размера, чтобы его площадь равнялась площади катода торцевого фотоумножителя, а толщина – пробегу бета-частиц с максимальной энергией. Тракт обработки сигналов известного сцинтилляционного бета-спектрометрического датчика содержит блок анализатора, который регистрирует только импульсы, соответствующие пику полной энергии и анализирует формируемый амплитудный спектр, а так же содержит сложную схему, которая корректирует получаемый амплитудный спектр из-за нелинейной зависимости светового хода антрацена от энергии электронного и бета-излучения при энергиях ниже 100 кэВ.

Недостатком известного устройства является постоянная толщина выбранного сцинтиллятора, равная, по крайней мере, пробегу бета-частиц с максимальной энергией, что делает его малоприменимым, если требуются измерения бета-источников других типов с более жестким спектром, т. е. с большей максимальной энергией. Недостатком является также наличие сложной схемы анализатора и коррекции сигналов.

Предлагаемый сцинтилляционный датчик электронного и бета-излучения (фиг. 1) состоит из сцинтиллятора в виде одномерного сцинтилляционного экрана 1, содержащего дополнительно клинообразный преобразователь излучения вогнутой формы 2; фотоприемника, в виде одномерной фоточувствительной линейки 3 и тракта обработки сигналов 4. Датчик работает следующим образом. Попадая в дополнительный преобразователь излучения, электронное излучение проходит через клинообразный преобразователь излучения вдоль оси Z на величину, не превышающую максимальный экстраполированный пробег электронов (бета-частиц) для данной энергии. Это означает, что только часть

излучения достигнет сцинтиллятора 1, т. е. по оси X будет загружена только часть ячеек фотоприемной линейки от начала (нулевой толщины) клина до некоторого предела, соответствующего определенной толщине клина, по которому и можно определить максимальную энергию падающего излучения.

Чтобы координата крайней светящейся ячейки сцинтилляционного экрана была пропорциональна энергии регистрируемых электронов, поверхность клина должна иметь форму ($Z = f(X)$), соответствующую зависимости пробега электронов от их энергии. Фоторегистрирующее устройство и тракт обработки сигналов определяют крайнюю светящуюся ячейку сцинтилляционного экрана путем сравнения сигнала от каждой ячейки фоторегистрирующей линейки с сигналом, соответствующим пороговому значению, адекватному фону.

Световой фон может быть связан с естественным гамма-фоном и случайными слабыми сцинтилляциями. Устройство определяет координату X последней светящейся ячейки сцинтилляционного экрана. Это, поскольку $X \sim R_{экс}$, равносильно определению экстраполированного пробега $R_{экс}$ электронов (бета-частиц) в веществе клина, имеющем небольшой эффективный атомный номер $Z_{эф}$ (алюминий, легкая керамика, фторид лития или натрия и др) для уменьшения альbedo электронного и бета-излучения.

Далее по величине $R_{экс}$, $г/см^2$, определяется энергия электрона E_0 , МэВ, по формуле

$$E_0 = C_1 m_0 c^2 \exp \left[\frac{R_{экс}}{C_1} \left(C_2 + \frac{C_3}{1 + C_4 R_{экс}^{C_5}} \right) - 1 \right],$$

где $C_1 = \frac{2,98 \cdot 10^3}{Z}$; $C_2 = \frac{6,14 Z^{1,026}}{A}$; $C_3 = 2,57 \cdot 10^2 - 0,34 Z$; $C_4 = \frac{1,47 \cdot 10^3}{Z^{0,692}}$; $C_5 = \frac{0,905}{Z^{0,1874}}$;

A – атомная масса, Z – эффективный атомный номер вещества. (Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений / В. П. Машкович, Л. В. Кудрявцева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 494 с). Сцинтилляционный экран изготавливают из материала с малым временем высвечивания τ (например, (Li, Na)F кристаллы с $\tau < 5$ нс), что позволяет датчику работать в режиме реального времени при больших радиационных нагрузках.

Преимуществом предлагаемого сцинтилляционного датчика электронного и бета-излучения является его работа в режиме реального времени и простота тракта обработки сигналов, в сравнении с аналогами, в которых используются сложные схемы с высокими требованиями к линейности преобразования сигналов.

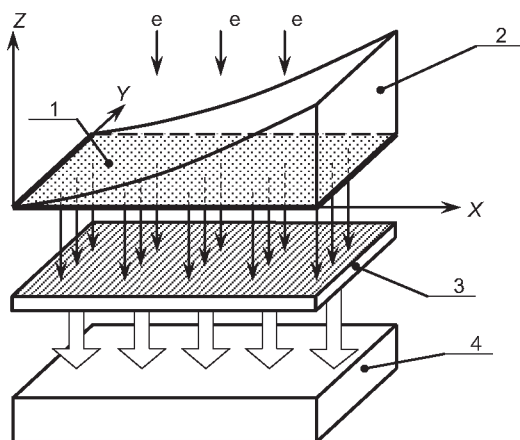
Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного датчика электронного и бета-излучения является возможность регистрации не только электронного и бета-, но и позитронного излучения.

Формула изобретения

1. Сцинтилляционный датчик электронного и бета-излучения, включающий сцинтиллятор, фотоприемник и тракт обработки сигналов, отличающийся тем, что сцинтиллятор выполнен в виде одномерного сцинтилляционного экрана и дополнительно содержит клинообразный преобразователь излучения, фотоприемник выполнен в виде одномерной фоточувствительной линейки, а тракт обработки сигналов включает схему для определения местоположения крайней светящейся ячейки одномерного сцинтилляционного экрана.

2. Сцинтилляционный датчик электронного и бета-излучения по п. 1, отличающийся тем, что клинообразный преобразователь изготовлен из вещества с небольшим эффективным атомным номером.

3. Сцинтилляционный датчик электронного и бета-излучения по п. 1, 2, отличающийся тем, что клинообразный преобразователь имеет вогнутую форму, обеспечивающую линейную зависимость преобразования энергии регистрируемого излучения в величину пробега.



Фиг. 1

Патент № 2259573 РФ. Сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, В. И. Арбузов, К. В. Ивановских, Л. В. Викторов, А. Н. Черепанов, В. С. Андреев, В. Л. Петров, А. В. Кружалов, В. В. Соколкин. Заявл. 23.03.2004; опубл. 27.08.2005. Бюл. № 24.

Реферат

Изобретение относится к области дозиметрии быстрых и тепловых нейтронов и гамма-излучения. Оно пригодно для использования в комплексах и системах радиационного контроля, предназначенных для обнаружения делящихся материалов (урана, плутония, калифорния и изделий из них).

Сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов обеспечивает регистрацию как быстрых, так и тепловых нейтронов с повышенной эффективностью. Детектор состоит из датчика и блока электронной обработки сигналов. Датчик содержит два размещенных в едином корпусе сцинтиллятора, выполненных в виде пластин с плоскопараллельными соприкасающимися гранями, находящимися в оптическом контакте. Первый – пластиковый сцинтиллятор изготовлен в виде клина из органического водородсодержащего вещества, избирательно чувствительного к быстрым нейтронам, которые за счет протонов отдачи вызывают в нем световые вспышки, и служит для регистрации быстрых нейтронов. Второй сцинтиллятор – стеклянный (на основе ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла) предназначен для регистрации тепловых нейтронов. Оба сцинтиллятора снабжены световозвращающей пленкой и образуют единый сенсорный сцинтиллятор, оборудованный свинцовым коллиматором и размещенный вместе с последним в полиэтиленовом пенале-накопителе. Датчик содержит также фотоэлектронный умножитель, устанавливаемый с торца пластикового сцинтиллятора, сигналы с которого поступают на блок электронной обработки сигналов, обеспечивающий подсчет числа импульсов, вызванных сцинтилляциями, возникающими в обоих сцинтилляторах.

Сущность изобретения заключается в том, что пластиковый сцинтиллятор не только замедляет быстрые нейтроны до уровня тепловых (которые регистрируются затем нижним ${}^6\text{Li}$ -содержащим стеклянным сцинтиллятором), но является одновременно и световодом, обеспечивающим, во-первых, почти 100 %-й светосбор сцинтилляций, возникающих в стеклянном сцинтилляторе, и, во-вторых, перенос света через пластик на фотоприемник (ФЭУ). Клинообразная форма пластикового сцинтиллятора снижает потери при светосборе и способствует более эффективной доставке сцинтилляций на фотокатод ФЭУ, а также обеспечивает замедление не только быстрых нейтронов, но и нейтронов промежуточных энергий до тепловых энергий. Световозвращающая пленка применена для повышения светосбора и светозащищенности устройства. Для эффективного замедления части первичных быстрых нейтронов, прошедших через оба сцинтиллятора, используют полиэтиленовый пенал-накопитель, который из быстрых и промежуточных нейтронов формирует так называемую «нейтронную баню» тепловых нейтронов, значительная часть которых поступает из пенала-накопителя назад в ${}^6\text{Li}$ -стеклянный сцинтиллятор.

Предлагаемый детектор позволяет регистрировать не только быстрые, промежуточные и тепловые нейтроны, но и гамма-кванты.

Описание изобретения

Изобретение относится к области дозиметрии быстрых и тепловых нейтронов и гамма-излучения. Оно пригодно для использования в комплексах и системах радиационного контроля, предназначенных для обнаружения делящихся материалов (урана, плутония, калифорния и изделий из них), для радиационного обследования ядерных субмарин, подлежащих разборке, для решения задач Госатомнадзора, таможенного контроля,

для служб дозиметрической и ядерной безопасности предприятий по переработке ядерного горючего.

Известен селективный детектор нейтронов (Пат. 3688118 США). Он содержит электронный блок информации и два датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, а другой – только к заряженным частицам. Число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом с датчиков, выделяемым с помощью электронного блока. Однако для датчика, чувствительного одновременно к заряженным частицам и нейтронам, эффективность регистрации нейтронов не может быть высокой. Известный детектор нейтронов не пригоден для одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов.

Известен детектор нескольких излучений (Детектор нескольких излучений. Заявка ЕВП (ЕР) № 0311503, 1989). Детектор включает два сцинтилляционных датчика с зеленым и красным свечением, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой – к низкоэнергетическому, а также оптоэлектронный блок регистрации, выделяющий сигналы от датчиков с помощью светофильтров (зеленого и красного) и регистрирующий их с помощью фотодиодов. Такой детектор имеет ограниченное применение. Он не пригоден для регистрации быстрых и тепловых нейтронов одновременно.

Известен сцинтилляционный детектор СПС-Т4А (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990). Датчик детектора представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации быстрых нейтронов. Детектор имеет следующие характеристики: длительность сцинтилляции – 8,5 нс; световой выход (УЕСВ по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ – 0,29; максимум спектра люминесценции 490 нм, диаметр и высота до 50 мм. Однако такой детектор не пригоден для одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов.

Известен детектор надтепловых нейтронов (Пат. 42412536 США). Детектор содержит датчик тепловых нейтронов – ^3He -счетчик; защиту от тепловых нейтронов, окружающую этот датчик; замедлитель надтепловых нейтронов, которые проникают через защиту, с тем чтобы эти нейтроны легче поглощались ^3He -счетчиком. Толщина замедлителя и отношение диаметра счетчика к внешнему диаметру замедлителя таковы, что максимальная скорость счета, которую можно получить, достигается тогда, когда счетчик полностью заполняет внутренний диаметр защиты от тепловых нейтронов. Однако чувствительность детектора не высока, поскольку известный детектор, непосредственно регистрирует только тепловые нейтроны, он не пригоден для одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов.

Известен детектор для измерения нейтронов и гамма-лучей (Пат. 4482808 США). Детектор содержит датчик, в частности сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако любой однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов. Описываемый детектор не обладает функциональными возможностями, необходимыми для одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов.

Известен детектор для регистрации ионизирующего излучения (Пат. 2088952 РФ). Известный детектор содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. Датчик состоит из последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также альфа-, бета-, гамма-излучениям, и световода, изготовленного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стилибена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, а также фото-

электронного умножителя, преобразующего световые вспышки (сцинтилляции) в электрические сигналы. Блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него как от альфа-, бета-, гамма-сцинтиллятора $\text{Vi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (длительностью 300 нс), так и от сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов световода (с длительностью сцинтилляций 5 – 7 нс). Однако данный детектор, будучи чувствительным к быстрым нейтронам, не чувствителен к тепловым нейтронам и не пригоден для их регистрации.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов и гамма-излучения (Пат. 2189057 РФ). Детектор содержит пластиковый сцинтиллятор, (n, α , γ)-конвертор из карбида или нитрида бора и сцинтилляционный кристалл NaI:Tl . Однако такой детектор имеет целый ряд недостатков:

- эффективность фотосбора сцинтилляций, возникающих в пластике от быстрых нейтронов, невысока, поскольку пластик соприкасается с фотоприемником (ФЭУ) не всей плоскостью, а только по периферийному кольцу. Площадь соприкосновения пластика с окном ФЭУ составляет 30 – 40 % от площади окна, поэтому эффективность фотосъема не превышает 30 – 40 % от фотосбора в режиме, когда сцинтиллятор соприкасается с ФЭУ всем своим рабочим торцом. Чехол из карбида или нитрида бора является светонепроницаемым и часть сцинтилляций от пластика в нем теряется;
- стойкость к удару такого детектора понижена, из-за высокой гигроскопичности сцинтилляционного кристалла NaI:Tl и повышенных требований к его герметизации;
- блок обработки сигналов известного детектора оказывается сложным из-за необходимости регистрации и обработки 4-х групп сигналов, различающихся по длительности и амплитуде.

Таким образом, известный детектор (Пат. 2189057 РФ) не пригоден для эффективной одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов.

Наиболее близким к заявляемому является детектор на основе пластика и ^6Li -силикатного стекла (Пат. 2143711 РФ). Известный детектор содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. В состав датчика входят помещенные в единый корпус фотоэлектронный умножитель и три параллельно-последовательно соединенных сцинтиллятора: внешний нейтронный сцинтиллятор, выполненный из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородсодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стильбена (сцинтиллятор с колодцем); размещенный в колодце внешнего сцинтиллятора сцинтилляционный кристалл NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительный к гамма-излучению; чувствительный к тепловым нейтронам внутренний сцинтиллятор на основе активированного церием ^6Li -силикатного стекла. Блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от нейтроночувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl . Однако известный детектор имеет целый ряд недостатков:

- эффективность фотосбора сигналов от быстрых нейтронов, возникающих в пластике $(\text{CH})_n$, невысока из-за того, что сигналы, во-первых, поступают на фотоприемник (ФЭУ) только по периферийному кольцу, обеспечивая фотосъем сцинтилляций на уровне до 30 – 40 % вследствие того, что кристалл NaI:Tl находится в непрозрачном корпусе и экранирует часть светового потока, возникающего в пластике, а во-вторых, вследствие того, что излучение быстрого пластикового сцинтиллятора не непосредственно попадает на ФЭУ, а поступает на него через стекло и частично поглощается в этом стекле, имеющем границу пропускания 350 – 380 нм, в итоге может быть потеряно до 32 – 43 % полезной информации;

- пониженная стойкость к ударным нагрузкам, поскольку детектор содержит сцинтилляционный кристалл NaI:Tl, отличающийся высокой гигроскопичностью, что повышает требования к герметизации.

Таким образом, известный детектор не может обеспечить эффективную регистрацию быстрых и тепловых нейтронов.

Предлагаемое нами устройство обеспечивает регистрацию с повышенной эффективностью как быстрых, так и тепловых нейтронов. Блок-схема заявляемого устройства приведена на фиг. 1. Заявленное устройство, – сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов, – состоит из датчика и блока электронной обработки сигналов. В едином корпусе датчика 1 размещены два сцинтиллятора, выполненных в виде пластин с плоскопараллельными соприкасающимися гранями, находящимися в оптическом контакте: верхний – пластиковый сцинтиллятор 2 из органического водородсодержащего вещества, имеющий форму клина и предназначенный для регистрации быстрых нейтронов; и нижний стеклянный (на основе ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла) сцинтиллятор 3, имеющий форму параллелепипеда и предназначенный для регистрации тепловых нейтронов. Сцинтилляторы 2 и 3, обернутые световозвращающей пленкой 4, образуют единый сенсорный сцинтиблок, который снабжен свинцовым коллиматором 5 и размещен вместе с ним в дополнительном полиэтиленовом (без крышки) пенале-накопителе 6, играющем роль накопителя тепловых нейтронов. Датчик содержит также фотозлектронный умножитель 7, устанавливаемый с торца пластикового сцинтиллятора 2, сигналы с которого поступают на блок электронной обработки сигналов 8, обеспечивающий подсчет числа импульсов, вызванных сцинтилляциями, возникающими в сцинтилляторах 2 и 3.

Сущность изобретения заключается в том, что верхний пластиковый сцинтиллятор 2 (выполненный из водородсодержащего вещества, избирательно чувствительного к быстрым нейтронам, которые создают в нем за счет протонов отдачи световые вспышки), одновременно является не только замедлителем быстрых нейтронов до уровня тепловых (которые регистрируются затем нижним ${}^6\text{Li}$ -содержащим стеклянным сцинтиллятором 3), но и световодом, обеспечивающим почти 100 %-й светосбор сцинтилляций, возникающих в стеклянном сцинтилляторе, и перенос света через пластик на фотоприемник (ФЭУ). Клинообразная форма пластикового сцинтиллятора снижает потери при светосборе и обеспечивает более эффективное поступление сцинтилляций на фотокатод ФЭУ. Кроме того, клинообразная форма сцинтиллятора 2 обеспечивает замедление не только быстрых нейтронов, но и нейтронов промежуточных энергий до тепловых энергий. Световозвращающая пленка 4 применена для повышения светосбора и светозащитности устройства. Для эффективного замедления части первичных быстрых нейтронов, прошедших через сцинтилляторы 2 и 3, используют полиэтиленовый пенал-накопитель 6, который из быстрых и промежуточных нейтронов формирует так называемую «нейтронную баню» тепловых нейтронов, значительная часть которых поступает из пенала-накопителя 6 назад в ${}^6\text{Li}$ -стеклянный детектор 3.

Устройство – сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов – в полях нейтронного излучения, создаваемых, в частности, делящимися материалами (ДМ) и изделиями из них, работает следующим образом. Излучение в виде нейтронов спектра деления с энергией в диапазоне 0,025 эВ – 14 МэВ поступает через корпус 1 детектора в пластиковый сцинтиллятор 2. Быстрые нейтроны, создавая в пластиковом сцинтилляторе 2 протоны отдачи (ядра водорода, выбитые из регулярных мест водородсодержащего вещества) вызывают в нем световые вспышки-сцинтилляции, обладающие максимумом спектра свечения при 420 – 440 нм и длительностью 4–8 нс, которые регистрируются фотозлектронным умножителем 7. Проходя через пластиковый сцинтиллятор 2, значительная часть быстрых нейтронов успевает замедлиться до тепловых энергий и, попадая в стеклянный сцинтиллятор, регистрируется им. Тепловые нейтроны в стеклянном сцинтилляторе 3 регистрируются благодаря реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha)T$, продукты которой вызы-

вают сцинтилляции с максимумом спектра свечения при 390 – 400 нм и длительностью 60 – 80 нс. Световые вспышки от стеклянного сцинтиллятора 3 возвращаются через оптический контакт практически без потерь назад в пластиковый сцинтиллятор 2 (играющий одновременно роль световода, хорошо пропускающего излучение с длиной волны 390 – 400 нм) и далее по нему поступают на ФЭУ и регистрируются им. За счет своей клинообразной формы верхний пластиковый сцинтиллятор-замедлитель в области малых толщин позволяет замедлять до тепловых энергий и промежуточные нейтроны. В противном случае, если бы он не имел клиновидную форму, а был выполнен в виде параллелепипеда, часть промежуточных нейтронов при больших толщинах пластика просто бы поглощалась пластиком и не регистрировалась бы детектором. Форма клина определяется спектром энергий регистрируемых нейтронов.

Световозвращающая пленка 4 предназначена для увеличения светособирания световых вспышек (сцинтилляций) как в пластиковом сцинтилляторе 2, так и в стеклянном сцинтилляторе 3, тем самым она способствует увеличению эффективности регистрации нейтронов.

Та часть первичных нейтронов, как быстрых, так и промежуточных, которая не замедлилась до тепловых энергий и прошла сквозь пластиковый сцинтиллятор 2 и стеклянный сцинтиллятор 3, не будучи зарегистрированной, попадает в полиэтиленовый пенал-накопитель 6. В пенале-накопителе все нейтроны замедляются до тепловых энергий, образуя в нем так называемую «нейтронную баню». Часть таких тепловых нейтронов терется из-за поглощения в стенках пенала, однако значительная часть нейтронов из полиэтиленового пенала-накопителя 6 возвращается назад и снова попадает в ^6Li -силикатное стекло, где, взаимодействуя с ядрами изотопа ^6Li по реакции $\text{Li}(n, \alpha)T$, вызывает появление альфа-частиц, которые и вызывают сцинтилляции в стекле (также с длительностью 60 – 80 нс). Их светосбор осуществляется так же, как и для сцинтилляций от первой порции тепловых нейтронов, образовавшихся еще в пластике и попавших на прямом пути в стеклянный сцинтиллятор (т. е. через оптический контакт стекла с пластиком и через пластиковый сцинтиллятор 2, используемый как световод) на фотокатод ФЭУ 7. Далее сигналы с ФЭУ поступают в блок электронной обработки сигналов 8, работающий в счетном режиме. Последний подсчитывает число импульсов, связанных как с быстрыми (длительность импульсов 4–8 нс), так и с тепловыми нейтронами (длительность импульсов 60 – 80 нс).

Для уменьшения влияния гамма-фона и обеспечения направленности измерений при решении задач определения местоположения источников излучений применяют коллиматор 5, изготовленный из свинца, толщина стенок которого выбирается достаточной для поглощения значительной части тылового и бокового фоновое гамма-излучения, что существенно увеличивает отношение сигнал/шум. Боковые стенки полиэтиленового пенала служат дополнительным коллиматором при регистрации нейтронов. Они повышают достоверность результатов при определении местоположения нейтронного источника.

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного детектора быстрых и тепловых нейтронов является отсутствие особых требований по герметизации сцинтилляционных материалов сцинтиблока, поскольку и пластиковый сцинтиллятор 2, и стеклянный сцинтиллятор 3 (близкий по своим свойствам к кварцевому стеклу) негигроскопичны, что повышает надежность работы детектора и стойкость детектора к ударным нагрузкам.

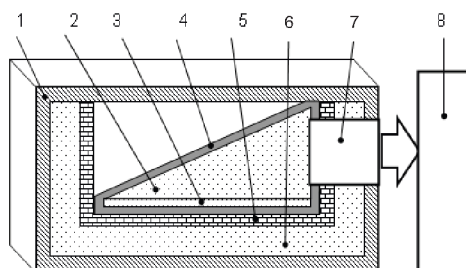
Дополнительным преимуществом предлагаемого детектора быстрых и тепловых нейтронов является возможность регистрации с его помощью гамма-излучения, сопутствующего нейтронному излучению делящихся материалов и изделий из них. Такая возможность обусловлена достаточно высокой чувствительностью к гамма-излучению как большеобъемного пластикового сцинтиллятора 2, так и стеклянного сцинтиллятора 3.

Сцинтилляции, вызываемые в них гамма-излучением, имеют практически те же спектр свечения и длительность, что и сцинтилляции от нейтронов. Они регистрируются блоком электронной обработки сигналов, работающим в счетном режиме, и проявляются как добавка к скорости счета от нейтронов. Это повышает обнаружительную способность детектора при поиске делящихся материалов, поскольку при этом обеспечивается их обнаружение сразу по двум характерным для них основным признакам, т. е. по их нейтронному и гамма-излучению.

Дополнительным преимуществом конструкции предлагаемого детектора является возможность значительного увеличения длины, ширины и высоты клинообразного пластика, поскольку фотоприемник ФЭУ установлен на его торцевой поверхности.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов, содержащий датчик, включающий сцинтиллятор на основе органического водородсодержащего пластика, чувствительного к быстрым нейтронам и стеклянный сцинтиллятор на основе ^6Li -силикатного стекла, чувствительного к тепловым нейтронам, и фотоэлектронный умножитель, а также блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что сцинтилляторы, выполнены в виде пластин с параллельными соприкасающимися гранями, причем органический сцинтиллятор выполнен в виде клина, а стеклянный в виде параллелепипеда, образуя единый сенсорный сцинтиблок, снабженный свинцовым коллиматором и размещенный вместе с последним в дополнительном полиэтиленовом пенале-накопителе тепловых нейтронов, а фотоэлектронный умножитель установлен с торца пластикового сцинтиллятора.



Фиг. 1

Патент № 2261459 РФ. Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, Т. С. Королева, C. Pedrini, C. Dujardin. Заявл. 29.01.2004; опубл. 27.09.2005. Бюл. № 27.

Реферат

Предложен сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения с высоким (микронным) пространственным разрешением, малым временем (\sim нс) высвечивания сцинтилляций и красным диапазоном ($\sim 600 - 720$ нм) свечения, способный работать в режиме реального времени и предназначенный для визуализации рентгеновского излучения в томографии, микротомографии, радиографии, в системах таможенного контроля и в системах неразрушающего контроля промышленных изделий. Предложенный сцинтиллятор способен также визуализировать потоки электронного излучения.

Суть изобретения заключается в том, что кристаллы фторида лития или натрия содержат приповерхностный сцинтилляционный слой, выполненный в виде дискретных сцинтилляционных ячеек с размерами от 6 мкм и выше, оптически разделенных между собой металлической сеткой с размерами, соответствующими размерам ячеек.

Предложенный сцинтиллятор позволяет применять для считывания изображения PIN-фотодиоды и обеспечивает работу сцинтиллятора в режиме реального времени.

Описание изобретения

Изобретение относится к области датчиков ионизирующих излучений с высоким пространственным разрешением, чувствительных к пучкам рентгеновского и электронного излучений и применяемых для их визуализации в томографии, микротомографии, радиографии, в системах таможенного контроля, в системах неразрушающего контроля промышленных изделий, а так же при телемеханическом мониторинге промышленных изделий и технологий.

Известен люминофор-сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения (Digital radiography using an EBCCD-based imaging device / M. Rossi [et al.] // Appl. Radiation and isotopes 2000. Vol. 53. P. 699 – 709) на основе запоминающих фосфоров BaFBr:Eu, создающих скрытое изображение. Однако визуализация скрытого изображения на известном люминофоре-сцинтилляторе происходит только при дополнительной оптической стимуляции, например, He–Ne лазером, т. е. такой люминофор-сцинтиллятор не позволяет работать в режиме реального времени. Кроме того, он имеет недостаточно высокое пространственное разрешение на уровне нескольких сотен микрон.

Известен сцинтиллятор на основе кристаллов NaI:Tl, работающий в сочетании с фотоэлектронными умножителями (Hell E. The evolution of Scintillating medical detectors / E. Hell, W. Knüpfеr, D. Mattern // Nucl. Instr. and Meth. 2000. Vol. A454. P. 40 – 48). Однако известный сцинтиллятор не обеспечивает высокого пространственного разрешения, поскольку является сплошным, вследствие чего в нем происходит изотропное рассеяния сцинтилляций и изображение размывается. Кроме того, спектр излучения NaI:Tl (410 нм) плохо согласуется со спектральной чувствительностью PIN-фотодиодов (420 – 800 нм).

Известен сцинтилляционный экран на основе полистиреновых сцинтиллирующих волокон (Reflection losses In polystyrene fibers / C. D'Ambrosio [et al.] // NIM. 1991. Vol. A306. P. 549), работающих в сочетании с мультянодными (многоканальными) фотоэлектронными умножителями (Группен К. Детекторы элементарных частиц: справочное издание / К. Группен; пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с). Такой сцинтилляционный экран имеет пространственное разрешение на уровне 20 – 60 мкм, однако из-за низкого эффективного атомного номера ($Z_{эф} \leq 6$) он обладает очень низкой чувствительностью к рентгеновскому излучению и неэффективен для его визу-

лизации. Кроме того, сцинтилляторы из органических материалов обладают очень низкой термической и радиационной стойкостью.

Известны сцинтиллирующие среды на основе гамма-облученных пленок фторидов LiF , MgF_2 , BaF_2 или CaF_2 (или их комбинаций), полученных методом термовакuumного напыления фторидов металлов после гамма-облучения этих пленок заданной дозой, обычно 7 кКл/кг (Спектрально-люминесцентные свойства гамма-облученных кристаллов и пленок на основе фторидов / А. П. Войтович [и др.] // Журн. прикл. спектр. 2003. Т. 70, № 1. С. 116–123). Недостатком известных сцинтилляционных сред является их недостаточно высокое пространственное разрешение, что связано с тем, что центры окраски пленочных или кристаллических фторидах распределены равномерно по всей зоне облучения. Поскольку пленки при малой толщине обладают еще и волноводными свойствами, то при попадании пучка излучения в какую-либо точку пленки ее сплошная светящаяся поверхность создает сильный фон, ухудшающий пространственное разрешение.

Известен сцинтиллятор на основе кристаллов NaF , облученных синхротронным излучением, в результате чего в них наводятся F_2 -центры окраски, которые являются центрами свечения красного диапазона. (Иванов В. Ю. Быстрая люминесценция кристаллов на основе NaF / В. Ю. Иванов, Б. В. Шульгин, Т. С. Королева // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 1999. Вып. 2. С. 100 – 102). Максимум полосы свечения F_2 -центров окраски в NaF приходится на область 650 – 675 нм, что хорошо согласуется со спектральной чувствительностью не только фотоэлектронных умножителей, но и PIN-фотодиодов. Длительность сцинтилляций известного сцинтиллятора на основе NaF с центрами окраски равна 8 нс при возбуждении импульсами синхротронного излучения длительностью 430 пс. Однако известный сцинтиллятор на основе NaF является сплошным: сцинтилляционный слой занимает всю поверхность облученного кристалла и поэтому обладает невысокой пространственной разрешающей способностью, соответствующей миллиметровому диапазону.

Наиболее близким к заявляемому сцинтиллятору является тонкослойный сцинтиллятор на основе кристаллов $(\text{Li},\text{Na})\text{F}:\text{U},\text{Me}$ с центрами окраски (Эволюция агрегатных центров свечения кристаллов $(\text{Li},\text{Na})\text{F}$ под действием радиации / А. Н. Черепанов [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2003. Вып. 12. С. 27–38). Такой сцинтиллятор в приповерхностном слое содержит агрегатные центры окраски типа F_2 , F_2^+ , F_3^+ и F_2^- , являющиеся эффективными центрами свечения и обладает основным максимумом свечения при 650 нм. Однако известный тонкослойный сцинтиллятор не может обеспечить высокого пространственного разрешения из-за того, что имеет сплошной сцинтилляционный слой.

Предлагаемый сцинтиллятор состоит из приповерхностного сцинтилляционного слоя, представляющего собой сцинтиллятор на основе кристаллов $(\text{Li},\text{Na})\text{F}$ в виде дискретных ячеек с размерами от 6 мкм до 200 мкм и выше, оптически разделенных между собой металлической сеткой с размерами, соответствующими размерам ячеек (фиг. 1).

Металлическая сетка выполняется из радиационно-стойкого материала (например, тантала, циркония, ниобия) и углубляется в кристалл на глубину приповерхностного сцинтилляционного слоя (4–6 мкм) для оптического разделения сцинтилляционных ячеек. Дискретная структура слоя обеспечивает высокое пространственное разрешение, что связано с тем, что свечение одной из сцинтилляционных ячеек не возбуждает свечение соседних. Пространственное разрешение предлагаемого сцинтиллятора составляет единицы–сотни микрон. Визуализация рентгеновского излучения происходит благодаря свечению агрегатных центров окраски типа F_2 , F_2^+ , F_3^+ и F_2^- , с основным максимумом свечения в диапазоне 650 нм, что позволяет применять для считывания изображения

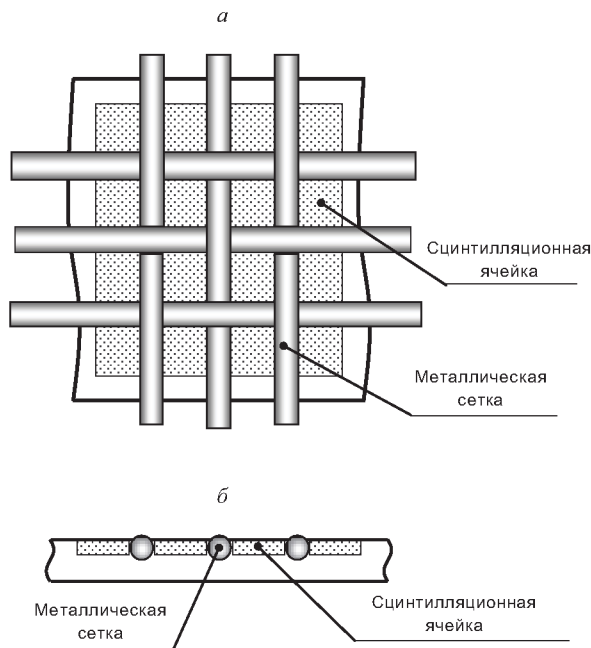
PIN-фотодиоды. Длительность сцинтилляций не превышает 8 нс, что обеспечивает работу сцинтиллятора в режиме реального времени.

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтиллятора является возможность визуализации не только рентгеновского, но и электронного излучения, а также возможность использования сцинтиллятора в качестве чувствительного элемента сцинтилляционных детектирующих устройств.

Формула изобретения

1. Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения на базе кристаллов (Li,Na)F, содержащий приповерхностный сцинтилляционный слой с центрами окраски, отличающийся тем, что сцинтилляционный слой выполнен в виде дискретных сцинтилляционных ячеек размерами от 6 мкм и выше, оптически разделенных между собой металлической сеткой с размерами, соответствующими размерам ячеек, и расположенной на глубине единиц микрон в кристалле.

2. Сцинтиллятор для визуализации рентгеновского излучения по п. 1., отличающийся тем, что металлическая сетка выполнена из радиационно-стойких материалов, например, тантала, циркония, ниобия.



Фиг. 1

Патент № 2262722 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, C. Pedrini, B. Hautefeuille, O. Tillement, K. Lebbou, J.-M. Fourmigue. Заявл. 29.01.2004; опубл. 20.10.2005. Бюл. № 29.

Реферат

Предложен световолоконный сцинтилляционный детектор, содержащий блок регистрации рентгеновского и ядерных излучений в виде сборки волокон и фотоприемное устройство, находящиеся в оптическом контакте друг с другом. Детектор предназначен для визуализации траектории и пространственного распределения высокоэнергетических частиц, и может быть использован для фундаментальных исследований и экспериментов в области физики высоких энергий на высокоэнергетических ускорительных установках, в дозиметрической практике в системах радиационного мониторинга, особо в интроскопах медицинского назначения (томография, рентгенография, сцинтиграфия), а также в рентгеновских системах неразрушающего радиационного контроля изделий автомобилестроения, кораблестроения, самолетостроения и ответственных элементов атомной и космической техники.

Суть изобретения заключается в том, что волокна, входящие в блок регистрации, представляет собой сцинтилляционные волоконные кристаллы $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) одинаковой длины с диаметром от 0,05 мм и более. При попадании рентгеновского или ядерного излучений на торцевую часть волокон блока регистрации, на последних формируется визуальная картина треков частиц или пространственного распределения излучения с разрешением, соответствующим диаметру используемых волокон. Это изображение передается по волокнам BGO в фотоприемное устройство, где и осуществляется регистрация визуальной картины.

Описание изобретения

Изобретение относится к сцинтилляционным детекторам ядерного излучения со светопроводящими волоконными сцинтилляторами, предназначенными для визуализации траектории и пространственного распределения высокоэнергетических частиц, и может быть использовано для фундаментальных исследований и экспериментов в области физики высоких энергий на высокоэнергетических ускорительных установках, в дозиметрической практике в системах радиационного мониторинга, особо в интроскопах медицинского назначения (томография, рентгенография, сцинтиграфия), а также в рентгеновских системах неразрушающего радиационного контроля изделий автомобилестроения, кораблестроения, самолетостроения и ответственных элементов атомной и космической техники.

Известен световолоконный детектор, включающий в себя волоконно-оптический сцинтилляционный датчик (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с), чувствительный элемент которого содержит нити из пластикового сцинтиллятора диаметром 1 мм, заполняющие люцитовый каркас размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}^3$. Такой световолоконный детектор из-за низкого эффективного атомного номера ($Z_{\text{эф}} < 6$) имеет низкую чувствительность к рентгеновскому, гамма- и другим видам ядерного излучения. В связи с этим использование известного световолоконного детектора в медицинских и промышленных детекторных системах неразрушающего контроля представляется нецелесообразным.

Известны световолоконные детекторы рентгеновского и гамма-излучения на основе кварцевых волокон (Dianov E. M. [et al.]. Electronics letters. 1995. Vol. 31, № 17. P. 1490 – 1491.; Dianov E. M. [et al.]. Electronics letters. 1999. Vol. 35, № 2. P. 170 – 171) и на основе волокон KU или KS-4V (Tomashuk A. L. [et al.]. // IEEE Transaction on Nuclear Science. 1998. Vol. 45, № 3, part 3. P. 1576–1579). Однако они являются детекторами ин-

тегрального абсорбционного типа и пригодны только для измерения дозы рентгеновского и гамма-излучения по интенсивности наведенных излучением полос в спектрах поглощения волокон. Причем они чувствительны только к высоким дозам излучения из-за низкого эффективного атомного номера (от десятков грей до мегагрей) и совершенно не пригодны для работы в режиме реального (on line) времени. Они не пригодны для получения и обработки информации, а тем более для передачи результатов визуализации изображения в медицинских и промышленных томографах.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор гамма- и рентгеновского излучения на основе йодида натрия по Пат. 4586785 США. Недостатком такого сцинтилляционного детектора является его высокая гигроскопичность, что повышает требования к герметизации устройства, усложняет его конструкцию и требует специальных приспособлений для обеспечения стойкости детектора к удару. Кроме того, известный световолоконный сцинтилляционный детектор имеет недостаточно высокий эффективный атомный номер ($Z_{эф} = 50$).

Известен кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-2 на основе галогенидов серебра (Пат. 2066464 РФ). Однако он имеет недостаточно высокий эффективный атомный номер ($Z_{эф} = 42,7-42,8$) и соответственно невысокую чувствительность к рентгеновскому, гамма- и другим видам ядерного излучения.

Известен световолоконный детектор (Свид-во Роспатента № 1756 от 16.02.1996 на полезную модель «Волоконно-оптический трековый детектор») из набора сцинтилляционных волокон на основе галогенидов серебра. Однако он имеет недостаточно высокий эффективный атомный номер ($Z_{эф} = 42,7-42,8$) и соответственно невысокую чувствительность к рентгеновскому, гамма- и другим видам ядерного излучения.

Известны световолоконные детекторы (калориметры), представляющие собой сцинтилляционные волокна, включенные в свинцовую матрицу с разделением считыванием отдельных сцинтилляционных волокон (Lateral Shower Profiles In a Lead Scintillating – Fiber Calorimeter / D. Acosta [et al.]. NIM. 1992. Vol. A316. P. 184). Однако используемые в световолоконном сцинтилляционном детекторе волокна изготовлены из органического материала, поэтому имеют низкий эффективный атомный номер и соответственно низкую эффективность регистрации рентгеновского, гамма- и других видов ядерного излучения. Их применение в промышленных томографах или интроскопах ограничено из-за низкой эффективности регистрации излучения и их низкой температуры плавления, и соответственно, низкой температурной устойчивости при эксплуатации.

Известен сцинтилляционный световод (Пат. 2154290 РФ). Световод используют для обнаружения и измерения ионизирующего излучения (рентгеновского, гамма-, альфа- и электронного). Состав сцинтилляционного световода – твердые растворы на основе галогенидов серебра, мас. %: AgCl 17,980 – 27,000; AgBr 82,000 – 72,499; AgI 0,010 – 0,500, которые активированы добавками либо таллия, либо хрома, либо европия, либо церия в количестве 0,01 – 0,001 мас. %. Однако известный сцинтилляционный световод имеет недостаточно высокий эффективный атомный номер ($Z_{эф} = 42,7-42,8$) и соответственно невысокую чувствительность к рентгеновскому, гамма- и другим видам ядерного излучения.

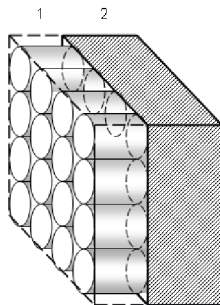
Наиболее близким к заявляемому является световолоконный сцинтилляционный детектор (Salomon M. New Measurements of Scintillating Fibers Coupled To Multianode Photomultipliers / M. Salomon. IEEE Trans. Nucl. Sci. 1992. Vol. 39. P. 671). Такой детектор содержит блок регистрации в виде сборки органических сцинтилляционных волокон (до нескольких тысяч волокон) и фотоприемное устройство. Известное устройство используется для регистрации треков быстрых заряженных частиц в калориметрах различного типа. Однако, известный световолоконный сцинтилляционный детектор, содержащий блоки сцинтилляционных волокон из органических материалов, имеет низкий эффективный атомный номер и, соответственно, невысокую эффективность регистрации рент-

геновского, гамма- и других видов ядерного излучения. Дополнительным недостатком известного сцинтилляционного детектора при его использовании в промышленных системах неразрушающего контроля является низкая термическая устойчивость органических блоков сцинтилляционных волокон.

Заявляемое устройство (фиг. 1) – световолоконный сцинтилляционный детектор – содержит блок регистрации рентгеновского и ядерных излучений 1 и фотоприемное устройство 2, помещенные в единый корпус. Между блоком регистрации 1 и фотоприемным устройством 2 имеется оптический контакт. Блок регистрации 1 представляет собой сборку из сцинтилляционных волоконных кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) одинаковой длины с диаметром от 0,05 мм и более. При попадании рентгеновского или ядерного излучений на входную часть (торцевую часть волокон) блока регистрации, на последнем формируется визуальная картина треков частиц или пространственного распределения этого излучения с разрешением, соответствующим диаметру используемых волокон. Максимум свечения кристаллов BGO наблюдается в спектральной области 480 – 520 нм, длительность люминесценции – 300 нс. Люминесцентные вспышки волокон передаются по ним в фоторегистрирующее устройство, например, фотодиодную матрицу, CCD-камеру, микроканальную пластину, многоканальный фотоэлектронный умножитель и т. д. Пространственное разрешение фоторегистрирующего устройства должно быть сравнимо с пространственным разрешением блока регистрации.

Формула изобретения

Световолоконный сцинтилляционный детектор, содержащий блок регистрации рентгеновского и ядерных излучений в виде сборки сцинтилляционных волокон и фотоприемное устройство, находящиеся друг с другом в оптическом контакте, отличающийся тем, что волокна, входящие в блок регистрации, выполнены из волоконных кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) одинаковой длины с диаметром от 0,05 мм и более.



Фиг. 1

Реферат

Использование: для получения термолуминофора, предназначенного для низкотемпературной дозиметрии заряженных частиц, в частности, электронных пучков и пучков ионов водорода или гелия, включая космические пучки, а так же для дозиметрии рентгеновского и гамма-излучения, особо для случаев низкотемпературной дозиметрии при определении дозозатрат элементов и устройств, изготовленных на основе высокотемпературных сверхпроводников, работающих в полях ионизирующих излучений, в частности, в установках термоядерного синтеза, и при контроле дозозатрат элементов и устройств космического базирования, в частности дозозатрат солнечных батарей космического развертывания от действия космических лучей.

Сущность: шихта содержит фторида натрия, углекислый натрий и хлористый скандий при следующем соотношении компонентов, мол. %: хлористый кадмий 0,1 – 0,6; углекислый натрий 0,003–0,01; фторид натрия – остальное.

Технический результат: повышение чувствительности термолуминофора в области низких рабочих температур (30 – 80 К) и уменьшение энергозатрат для считывания дозиметрической информации.

Описание изобретения

Изобретение относится к области низкотемпературной дозиметрии заряженных частиц, в частности, электронных пучков и пучков ионов водорода и гелия, включая космические пучки, а так же дозиметрии рентгеновского и гамма-излучения, особо для случаев низкотемпературной дозиметрии при определении дозозатрат элементов и устройств, изготовленных на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), работающих в полях ионизирующих излучений, в частности, в установках термоядерного синтеза, и при контроле дозозатрат элементов и устройств космического базирования, в частности дозозатрат солнечных батарей космического развертывания от действия космических лучей.

Известна шихта для получения термолуминофора на основе фтористого кальция (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с), для которого кривые высвечивания имеют три главных максимума при 70 – 100, 150 – 190 и 250 – 300°C. Термолуминофор, получаемый из известной шихты, пригоден для регистрации экспозиционных доз рентгеновского и гамма-излучения от 1 мР до 5000 Р с погрешностью ± 2 %. Однако рабочая температура дозиметрических измерений с использованием термолуминофора, получаемого из шихты на основе фтористого кальция, т. е. температура облучения этого термолуминофора высокая, она равна 20°C (293 К), т. е. термолуминофор, получаемый из известной шихты, непригоден для низкотемпературной (< 80 К) дозиметрии. О возможности применения известного термолуминофора для дозиметрии пучков заряженных частиц информации нет.

Известна шихта для получения термолуминофора на основе фторида кальция, активированного марганцем (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с). Получаемый из такой шихты термолуминофор имеет максимум термовысвечивания при 260°C (533 К). Спектр свечения имеет максимум при 500 нм. Однако получаемый из известной шихты термолуминофор $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ используется для персональной дозиметрии, осуществляемой при комнатной рабочей температуре облучения. Его нецелесообразно использовать при низких (< 80 К) рабочих температурах облучения, он практически непригоден для низкотемпературной дозиметрии. О возможности примене-

ния известного термолуминофора $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ для дозиметрии пучков заряженных частиц информации нет.

Известна шихта для получения термолуминофора $\text{CaSO}_4\text{:Mn}$, который имеет простую кривую термовывесчивания с одним максимумом при $80 - 100^\circ\text{C}$ (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с). Диапазон измеряемых поглощенных доз рентгеновского и гамма-излучения до 10^2 Гр. Однако, получаемый из известной шихты термолуминофор имеет комнатную рабочую температуру облучения, его нецелесообразно использовать при низких (< 80 К) рабочих температурах облучения. Получаемый из известной шихты термолуминофор непригоден для низкотемпературной дозиметрии. О возможности применения известного термолуминофора для дозиметрии пучков заряженных частиц информации нет.

Известна шихта для получения термолуминофора, пригодного для дозиметрии рентгеновского и гамма-излучения, на основе LiF:Na (Непомнящих А. И. Центры окраски и люминесценция кристаллов LiF / А. И. Непомнящих, Е. А. Раджабов, А. В. Егранов. Новосибирск: Наука, 1984. 112 с), который имеет низкотемпературный пик при $107-115$ К, обусловленный разрушением $\text{H}_A(\text{Na})$ -центров окраски. Эти центры окраски наблюдаются также в кристаллах LiF:Mg,Na и не образуются в чистых кристаллах LiF и в кристаллах, легированных магнием LiF:Mg , что доказывает их связь с примесью натрия во фториде лития. Однако рабочий термопик расположен при недостаточно низкой температуре, интенсивность пика термолуминесценции при $107-115$ К и соответственно чувствительность вышеуказанных термолуминофоров, получаемых из известной шихты, при низкотемпературных дозиметрических измерениях невелика. О возможности применения известного термолуминофора для дозиметрии пучков заряженных частиц информации нет.

Известна также шихта для получения термолуминофора на основе LiF:Mg,Ti (ДТГ-4) (Непомнящих А. И. Центры окраски и люминесценция кристаллов LiF / А. И. Непомнящих, Е. А. Раджабов, А. В. Егранов. Новосибирск: Наука, 1984. 112 с), пригодная для дозиметрии рентгеновского и гамма-излучения. Такой термолуминофор имеет низкотемпературный пик термолуминесценции при 140 К. Однако рабочий пик термолуминофора расположен при недостаточно низкой температуре, требуемой для решения задач низкотемпературной дозиметрии. О возможности применения известного термолуминофора для дозиметрии пучков заряженных частиц информации нет.

Известна шихта для получения термолуминофора на основе фторида лития LiF:Mg (ТЛД-100) (Cooke D. W., Rhodes J. F. // J. Appl. Phys. 1981. Vol. 52, № 6. P. 4244-4247), который имеет низкотемпературные пики термолуминесценции при 20 , 40 , 60 и 138 К. Однако интенсивность этих низкотемпературных пиков невысока, их использование неэффективно для низкотемпературной дозиметрии, поскольку основным рабочим пиком термолуминофора ТЛД-100 является высокотемпературный пик при 385 К. О возможности применения известного термолуминофора для дозиметрии пучков заряженных частиц информации нет.

Наиболее близкой по составу к заявляемой является шихта для получения рабочих веществ для детектирования излучения на основе фторида натрия, имеющая состав (мол. %): фторид натрия – $0,99$; фторид скандия – $0,01$ (Эволюция агрегатных центров свечения кристаллов $(\text{Li,Na})\text{F}$ под действием радиации / А. Н. Черепанов [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. Вып. 12. С. 27-38). Получаемые из известной шихты радиационно-чувствительные рабочие вещества обладают под действием пучков ионов гелия He^+ (энергия $3,0$ МэВ, ток пучка 7 мкА) яркой ионолуминесценцией с максимумами свечения в областях 415 и 600 нм. Этот состав NaF:0,1 \% Sc известен в качестве детектора электронных и ионных пучков с обычной и фотодиодной регистрацией. Однако сведения о возможном применении известной шихты для получения термолуминофора, при-

годного для низкотемпературной дозиметрии, не имеется, какие-либо сведения о низкотемпературных пиках термостимулированной люминесценции этого состава отсутствуют.

Общим для всех известных аналогов и прототипа является то, что приготовленные из известных шихт термолуминофоры (включая эталонные ТЛД-100 и ДТГ-4), даже обладая достаточно интенсивными пиками ТСЛ, либо не имеют низкотемпературных термопиков (< 80 К), либо имеют, такие, например, как ТЛД-100, но с очень низкой интенсивностью. Термопики при 107–115, 125, 138–140 или 200 – 205 К не являются низкотемпературными, что требует увеличения времени и энергозатрат для разогрева термолуминофоров от рабочей температуры (78 К или более низкой, температуры соответствующей режиму их базирования в космическом пространстве) до температуры съема дозиметрической информации. Для известных термолуминофоров температура съема дозиметрической информации должна быть хотя бы на 10 К выше температуры рабочего термопика, т. е. более 120 К, что создает проблемы, связанные с возможным (из-за высоких температур разогрева) нарушением функционирования ВТСП устройств, если термолуминофоры как детекторы сопровождения расположены в непосредственной близости от них.

Предлагаемая шихта для получения термолуминофора решает эти проблемы, поскольку получаемые из нее термолуминофоры имеют низкотемпературные термопики. В предлагаемую шихту на основе фторида натрия, содержащую хлористый скандий, дополнительно вводят углекислый натрий, так что шихта имеет состав, мол. %: хлористый скандий 0,1 – 0,6; углекислый натрий 0,003–0,01; фторид натрия – остальное.

Получаемый из предложенной шихты термолуминофор после облучения пучками ионов гелия или водорода до флюенсов $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, а также после облучения рентгеновским или гамма-излучением, или после облучения импульсным электронным пучком до доз 10^3 Гр, обладает достаточно интенсивным низкотемпературным термовысвечиванием в области 30 – 150 К с максимумами при ~ 50 и 80 К. Имеется также более высокотемпературный пик ТСЛ при 190 К, который при низкотемпературной дозиметрии не является рабочим термопиком. Кривые ТСЛ термолуминофора, полученного из предлагаемой шихты, приведены на фиг. 1, кривая 1 в сравнении с кривыми ТСЛ для других составов $\text{NaF}:(\text{U}, 0,01 \text{ \% Cu})$ (флюенс до $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$), кривая 2, и $\text{LiF}:0,1 \text{ \% Zn}$ (флюенс до $2,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$), кривая 3, у которых интенсивность ТСЛ в области 30 – 100 К в 3–6 раз ниже.

Спектр ионолуминесценции полученного термолуминофора имеет два характерных максимума: один при 400 – 415 нм (обусловлен электронно-дырочными дефектами решетки) и 600 нм (обусловлен примесью Sc) и слабый максимум при 650 – 660 нм (полоса свечения F_2 -центров окраски, обнаруживаемая при разложении спектра ТСЛ на составляющие). Такая особенность спектра свечения представляется уникальной. Она позволяет использовать для считывания дозиметрической информации как фотоприемники (фотоэлектронные умножители – ФЭУ) на сурьмяно-цезиевой основе с максимумом чувствительности в области 400 – 420 нм (почти стопроцентное совпадение с положением первого максимума свечения), так и на основе мультищелочных фотоприемников с максимальной чувствительностью в области 500 – 600 нм. Наличие полос свечения с максимумами в красной области спектра 600 и 650 нм, неплохо согласующихся с областью чувствительности фотодиодов, позволяет на базе предлагаемой шихты и получаемых из нее термолуминофоров изготавливать компактные ТЛД-детекторы с фотодиодной (PIN-структуры) регистрацией.

Рабочая температура предлагаемого термолуминофора не превышает 78–80 К, что соответствует температуре функционирования высокотемпературных сверхпроводников, а также элементов и устройств на их основе. Требуемые энергозатраты для полу-

чения дозиметрической информации путем термонагрева предлагаемого термолуминофора в полтора-два раза меньше, чем для всех известных аналогов, включая прототип.

Пример 1. Из шихты, состоящей из фторида натрия с добавкой 0,3 % хлористого скандия и 0,005 % углекислого натрия (все реактивы марки о. с. ч), выращивают методом Киропулоса на воздухе в платиновом тигле кристалл термолуминофора и охлаждают до комнатной температуры вместе с печью. Из полученной кристаллической були выкалывают образцы термолуминофора размерами $5 \times 5 \times 1 \text{ мм}^3$. Образцы, полученные путем выкалывания из були, отжигаются при температуре 200°C . После отжига один из образцов помещают в специальную камеру с криостатом, охлаждают до температуры, близкой к температуре жидкого гелия, облучают с помощью рентгеновской установки (W-антикатод, 55 кВ, ток 12 мА) до доз 0,1–10 Гр или облучают пучком ионов He^+ (3 МэВ) до флюенса $5 \cdot 10^{12}$ – $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. При нагревании облученного образца с постоянной скоростью $1,0 \text{ K} \cdot \text{с}^{-1}$ зарегистрирована кривая термолуминесценции с широким термопиком в области 30 – 150 К с максимумами при 50 и 80 К, фиг. 1. Как видно из фиг. 1, интенсивность термовысвечивания в области 50 – 100 К в десятки раз превышает такую для всех аналогов, включая ТЛД-100 (у многих аналогов термопиков в этой области вообще не наблюдается), она достаточна для регистрации доз электронного, рентгеновского и гамма-излучения на уровне 0,01 Гр и выше, а при регистрации пучков ионов достаточно для регистрации флюенсов на уровне $5 \cdot 10^{12}$ – $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

Если принять, что рабочей температурой облучения должна быть 15 – 30 К (космос) или 78 К, то в сравнении с аналогами, требующими нагрева до 125, 205 или даже 400 К, термолуминофор, получаемый из предлагаемой шихты, требующий нагрева лишь до 80 – 90 К, характеризуется гораздо меньшим временем съема дозиметрической информации. Например, при скорости нагрева $1,0 \text{ K} \cdot \text{с}^{-1}$ от 30 К аналоги требуют $(125 - 30)/1,0 = 95 \text{ с}$ или $(205 - 30)/1,0 = 175 \text{ с}$, тогда как предлагаемая шихта обеспечивает время обработки информации $(40 - 80 - 30)/1,0 = 10^{-3} \text{ с}$, т. е. на полпорядка–порядок меньше, соответственно и требуемые энергозатраты будут на полпорядка–порядок меньше.

Пример 2. Из шихты, состоящей из фторида натрия с добавкой 0,1 % хлористого скандия и 0,003 % углекислого натрия (все реактивы марки о. с. ч), выращивают методом Киропулоса на воздухе в платиновом тигле кристалл термолуминофора и охлаждают до комнатной температуры вместе с печью. Из полученной кристаллической були получают образцы путем выкалывания. Образцы имеют размеры $5 \times 5 \times 1 \text{ мм}^3$. Затем образцы, полученные путем выкалывания из були, отжигают при температуре 200°C . После отжига один из образцов помещают в специальную камеру с криостатом, охлаждают до температуры, близкой к температуре жидкого гелия, облучают с помощью рентгеновской установки (W-антикатод, 55 кВ, ток 12 мА) до доз 0,1–10 Гр или облучают пучком ионов He^+ (3 МэВ) до флюенса $5 \cdot 10^{12}$ – $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. При нагревании облученного образца с постоянной скоростью $1,0 \text{ K} \cdot \text{с}^{-1}$ зарегистрирована кривая термовысвечивания с широким термопиком в области 30 – 150 К с максимумами при 50 и 80 К, однако по сравнению с примером 1 интенсивность термовысвечивания в области 50 – 100 К снизилась на 8–10 %, а интенсивность более высокотемпературного пика ТСЛ выросла на 5 %. Получаемый из предлагаемой шихты термолуминофор обладает такими же короткими временами съема (несколько секунд) дозиметрической информации, как и в примере 1, хотя и при меньшей (на 8–10 %) чувствительности.

Пример 3. Из шихты, состоящей из фторида натрия с добавками 0,6 % хлористого скандия и 0,01 % углекислого натрия (все реактивы марки о. с. ч), выращивают методом Киропулоса на воздухе в платиновом тигле кристалл термолуминофора и охлаждают до комнатной температуры вместе с печью. Из полученной кристаллической були получают образцы путем выкалывания из выращенной були. Образцы имеют размеры $5 \times 5 \times 1 \text{ мм}^3$.

Затем образцы отжигаются при температуре 200°C. Далее один из образцов помещают в специальную камеру с криостатом, охлаждают до температуры, близкой к температуре жидкого гелия, облучают с помощью рентгеновской установки (W-антикатод, 55 кВ, ток 12 мА) до доз 0,1–10 Гр или облучают пучком ионов He^+ (3 МэВ) до флюенса $5 \cdot 10^{12}$ – $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. При нагревании облученного образца с постоянной скоростью $1,0 \text{ К} \cdot \text{с}^{-1}$ зарегистрирована кривая термовысвечивания с широким термопиком в области 30 – 150 К с максимумами при 50 и 80 К, однако при этом происходит перераспределение запасенной светосуммы в пользу более высокотемпературных светопиков 125 и 190 К, так что интенсивность термовысвечивания в области 50 – 100 К снизилась на 7–8 %. Получаемый из предлагаемой шихты термолуминофор обладает такими же быстрыми временами схода дозиметрической информации, как и в примере 1, хотя и при меньшей (на 7–8 %) чувствительности.

Свойства других термолуминофоров, полученных из шихты с граничными концентрациями углекислого натрия, ниже 0,003 мол. % или выше 0,01 мол. %, а хлористого скандия ниже 0,1 мол. % или выше 0,6 мол. %, уступают свойства термолуминофоров, полученных из предлагаемой шихты. Так повышенное содержание углекислого натрия в шихте, например 0,025 мол. % обеспечивающего формирование кислородосодержащих центров захвата и приводит к значительному (до 30 %) снижению интенсивности низкотемпературных пиков ТСЛ в области 30 – 120 К и соответственно к увеличению погрешности измерений. Пониженное содержание углекислого натрия (например 0,001 мол. %) также приводит к снижению интенсивности рабочего пика в области 30 – 120 К из-за снижения концентрации сложных кислородосодержащих центров свечения, оказывающих существенное влияние на выход ТСЛ.

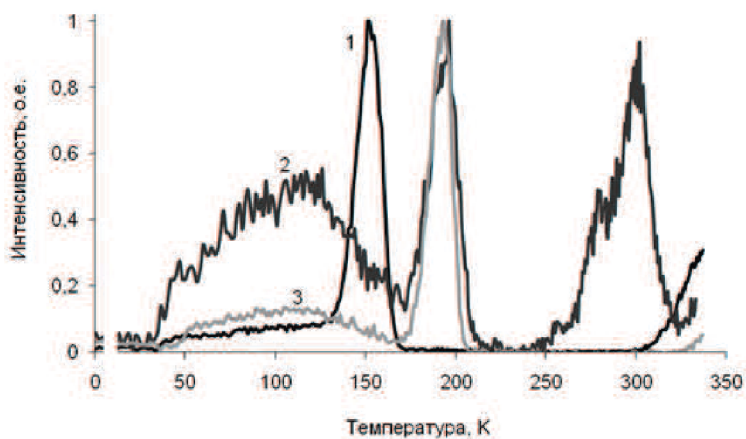
При пониженном < 0,1 мол. % или повышенном > 0,6 мол. % содержания хлорида скандия в шихте интенсивность низкотемпературных термопиков уменьшается на 15 – 35 %, что не позволяет проводить низкотемпературные измерения дозы электронного или гамма-излучения или флюенса заряженных частиц (гелия или водорода) с достаточно высокой чувствительностью.

Дополнительным преимуществом получаемого из предлагаемой шихты термолуминофора является его повышенная эффективность регистрации бета-излучения и электронных пучков из-за невысокого эффективного атомного номера $Z_{\text{эф}} = 10,2$ и соответственно из-за пониженных значений альбеда.

Достоинством предлагаемой шихты для получения термолуминофора является наличие достаточно интенсивного низкотемпературного пика ТСЛ при 30 – 80 К. Такие термолуминофоры можно использовать в качестве детекторов сопровождения устройств на базе высокотемпературных сверхпроводников, работающих при температуре жидкого азота в полях ионизирующих излучений для определения дозозатрат от гамма- и электронного излучения, а также ионных пучков.

Формула изобретения

Шихта для получения термолуминофора, содержащая фторид натрия и скандий, отличающаяся тем, что она содержит скандий в виде хлорида скандия и дополнительно содержит углекислый натрий при следующем соотношении компонентов, мол. %: хлористый скандий 0,1 – 0,6; углекислый натрий 0,003–0,01; фторид натрия – остальное.



Фиг. 1.

- 1 – термолуминофор, полученный из предлагаемой шихты;
 2 – NaF:(U, 0,01 % Cu) (флюенс до $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$);
 3 – LiF:0,1 % Zn (флюенс до $2,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$)

Патент № 2269802 РФ. Способ изготовления инфракрасного светофильтра / В. Ю. Иванов, Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, Е. Г. Голиков, А. В. Кружалов, Ф. Г. Нешов, В. Л. Петров. Заявл. 28.07.2004; опубл. 10.02.2006. Бюл. № 4.

Реферат

Предложен способ изготовления инфракрасного светофильтра отрезающего и полосового типа, поглощающего видимое излучение и пропускающего коротковолновое и длинноволновое ближнее инфракрасное излучение и предназначенного для защиты инфракрасных датчиков видеоконтрольных устройств и приборов ночного видения от паразитных помех, вызываемых излучением видимого диапазона, а также для использования в спектральных системах контроля подлинности документов, в охранных телевизионных системах, системах охранной и пожарной сигнализации, в том числе в системах контроля и разграничения доступа и охраны периметра объектов, видеодомофонах, видеоглазках и тому подобных устройствах.

Суть изобретения заключается в том, что светофильтр получают путем облучения приповерхностного слоя кристалла фторида натрия при комнатной температуре пучком ионов гелия с энергией 1,5 – 4,6 МэВ до флюенса (дозы) $1,2 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{16}$ ион/см², что приводит к эффективному накоплению в приповерхностном слое определенной концентрации центров окраски и делает кристалл NaF непрозрачным для видимого света, но прозрачным в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн 0,8–12 мкм. Предлагаемый способ включает в себя не только режим облучения поверхности одной рабочей грани кристалла, но и режим последовательного облучения вначале рабочей грани кристалла, а затем противоположной ей грани до флюенса $(1,2 - 3,0) \cdot 10^{16}$ ион/см² на каждую грань. Это обеспечивает повышенную способность и надежность светофильтров поглощать излучение видимого диапазона даже при механическом нарушении приповерхностного модифицированного излучением слоя рабочей грани кристалла.

Описание изобретения

Изобретение относится к области светотехники и интегральной оптики, связанной с созданием инфракрасных светофильтров отрезающего и полосового типа, поглощающих видимое излучение и пропускающих коротковолновое и длинноволновое ближнее инфракрасное излучение и предназначенных для защиты инфракрасных датчиков видеоконтрольных устройств и приборов ночного видения от паразитных помех вследствие излучения видимого диапазона, а также для использования в спектральных системах контроля подлинности документов, в охранных телевизионных системах, системах охранной и пожарной сигнализации, в том числе в системах контроля и разграничения доступа и охраны периметра объектов, видеодомофонах, видеоглазках и тому подобных устройствах.

Известен способ изготовления инфракрасного (ИК) светофильтра на основе целлюлозы (Пат. 2418605 США). Известный способ получения ИК-светофильтра на основе целлюлозы заключается в добавлении в целлюлозу органических кубовых красителей. Недостатком известного способа является то, что получаемые по такому способу ИК-светофильтры имеют большие потери полезного длинноволнового ближнего ИК-излучения в области 3–12 мкм, что резко снижает чувствительность видеоконтрольных ИК-устройств на основе кремния в активной части их рабочего ИК-диапазона.

Известен способ изготовления ИК-светофильтра (Пат. 2579513 США), заключающийся во введении органических красителей в резину и нанесении резинового покрытия с органическими красителями на стеклянную подложку. Недостатком известного способа является то, что получаемые по такому способу ИК-светофильтры обладают потерями

полезного длинноволнового излучения ближнего (3–12 мкм) ИК-диапазона, являющегося частью активного рабочего ИК-диапазона видеоконтрольных устройств.

Известен способ изготовления ИК-светофильтра (Пат. 3279938 США), заключающийся в нанесении триселенида сурьмы на прозрачную подложку. Однако сурьмяноселенидные светофильтры выделяют вредные продукты разложения при воздействии света и нагревании.

Известен способ изготовления ИК-светофильтра (Advanced Illumination system, USA, Херох Комп., 1970) на основе многослойных и диэлектрических покрытий на стеклянной подложке. Однако покрытия, получаемые по такому способу сложны в изготовлении.

Известен способ получения ИК-светофильтров на основе полистирола или полиметилметакрилата (Лаборатория физики полимеров Санкт-Петербургского технологического института (технического университета), интернет-сайт www.epoch.newmail.ru) в виде пластин окрашенных органических стекол с глянцевым (полированными) или шероховатыми (матовыми) поверхностями путем заливки в соответствующие формы оптически прозрачных эпоксидных композиций с внедренными органическими красителями и последующего отверждения с границей пропускания 0,66–0,75 мкм. Однако получаемые по такому способу ИК-светофильтры имеют большие потери полезного длинноволнового ИК-излучения в области 3–12 мкм, что резко снижает чувствительность видеоконтрольных ИК-устройств на основе кремния в активной части их рабочего ИК-диапазона.

Наиболее близким к заявляемому является известный способ радиационно-лучевого окрашивания кристаллов LiF:U,Me и NaF:U,Me (Кидибаев М. М. Радиационно-стимулированные процессы в кристаллах $(\text{Li,Na})\text{F:U,Me}$ / М. М. Кидибаев. Каракол; Екатеринбург. Исык-кульский государственный университет, 1999. 220 с) путем облучения их пучками ионов He^+ с энергией 1,5–4,6 МэВ плотностью потока $5 \cdot 10^{12}$ – $5 \cdot 10^{13}$ ион/см² и флюенсом 10^{13} – 10^{15} ион/см², или импульсными пучками электронов с энергией 0,3 МэВ, током 0,8–10 кА, длительностью импульса 2 нс, или гамма-излучением ^{60}Co в течение 57 суток с дозой $2,58 \cdot 10^5$ Кл/кг. Оптическая плотность центров окраски составляла ~ 1000 см⁻¹. Этот известный способ окрашивания является основным способом изготовления лазерных элементов на центрах окраски в кристаллах LiF и NaF с полосами поглощения в области 442 нм (F_2 -центры в LiF) и 518–520 нм (F_3^{+} -центры в NaF) для миниатюрных лазеров и однокристалльных многолучевых лазеров. Однако известный способ окрашивания кристаллов LiF и NaF и получения лазерных элементов на их основе путем их радиационной модификации с помощью ионных или электронных пучков или с помощью гамма-излучения не применялся для получения ИК-светофильтров отрезающего и полосового типа, поскольку концентрация центров окраски при используемых дозах (флюенсах) облучения невысока. Получение лазерного элемента на центрах окраски кристалла NaF и получение полосового светофильтра на основе кристалла NaF с центрами окраски – разные задачи. Лазерный элемент на центрах окраски должен быть прозрачен для собственного когерентного излучения, т. е. концентрация центров окраски не должна превышать определенной величины. Светофильтр, отсекающий видимое излучение, напротив, должен иметь максимально достижимую концентрацию центров окраски в приповерхностном облученном слое, который должен играть роль слоя, полностью поглощающего видимое излучение в области 400–750 нм. Очевидно, что для изготовления светофильтра требуются гораздо более высокие дозы облучения.

Предлагаемое изобретение связано с разработкой способа изготовления инфракрасного светофильтра на основе монокристалла фторида натрия путем радиационной модификации его приповерхностного слоя пучком ионов гелия, приводящей к интенсивному окрашиванию этого слоя в связи с созданием в нем высокой концентрации центров

окраски, обеспечивающих поглощение излучения в видимом диапазоне спектра и сохранением прозрачности в ближнем ИК-диапазоне 0,8–12 мкм.

Сущность предлагаемого способа заключается в том, что радиационную модификацию приповерхностного слоя кристалла фторида натрия ведут при комнатной температуре с помощью пучка ионов гелия с энергией 1,5–4,6 МэВ до флюенса (дозы) $1,2 \cdot 10^{16}$ – $3 \cdot 10^{16}$ ион/см². Радиационная обработка поверхности рабочей грани кристалла NaF ионами гелия приводит к эффективному накоплению в приповерхностном слое толщиной 5–10 мкм простых центров окраски (F-типа) и агрегатных электронных центров окраски F₂ и F₃⁺ типа, поглощающих свет ближнего ультрафиолетового (от 250 нм и выше) и видимого диапазона (250–780 нм) в широких полосах при 310 нм (F-центр), при 442 нм (F₂-центр) и при 518 нм (F₃⁺-центр), фиг. 1. По достижении флюенса $1,2 \cdot 10^{16}$ ион/см² концентрация центров окраски F₂ и F₃⁺ типа в приповерхностном слое толщиной 5–10 мкм возрастает в 10000 раз, что делает кристалл NaF непрозрачным для видимого света как сине-голубого диапазона (420–500 нм), так и желто-оранжевого (550–590 нм). В ближнем инфракрасном диапазоне длин волн 0,8–12 мкм для кристалла NaF с модифицированной поверхностью поглощение излучения не наблюдалось. Предлагаемый способ включает в себя не только режим облучения поверхности одной рабочей грани кристалла, но и режим последовательного облучения вначале рабочей грани кристалла, а затем противоположной ей грани до флюенса $(1,2–3,0) \cdot 10^{16}$ ион/см² на каждую грань. Это обеспечивает повышенную способность и надежность светофильтров поглощать излучение видимого диапазона даже при механическом нарушении приповерхностного модифицированного излучением слоя рабочей грани кристалла. Предлагаемый способ позволяет изготовить инфракрасный светофильтр, пропускающий излучение в рабочей области приборов ночного видения и видеоконтрольных устройств, – в области 0,8–12 мкм, и защищает эти приборы и устройства от засветки за счет прямого действия солнца (желто-оранжевый диапазон спектра), так и от засветки вследствие релеевского рассеянного света голубого неба (диапазон 420–500 нм), что необходимо для снижения и устранения паразитных помех.

Важной особенностью светофильтров, получаемых по предлагаемому способу, является возможность их эксплуатации в условиях низких температур открытого космоса, поскольку центры окраски, обеспечивающие их работоспособность (поглощающие излучение видимого диапазона) устойчивы вплоть до температуры жидкого гелия (4,2 К). Другой важной особенностью светофильтров на основе облученных кристаллов NaF является их прозрачность не только в ИК-диапазоне, но и достаточно высокая прозрачность в вакуумном ультрафиолетовом (ВУФ) (120–200 нм) и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах. Они пригодны для обеспечения функционирования видеоконтрольных устройств, осуществляющих наведение и слежение одновременно в ИК- и УФ- (ВУФ-) диапазонах.

Кроме выше названных, предлагаемый способ обеспечивает еще ряд дополнительных преимуществ. Получаемые по предлагаемому способу ИК-светофильтры негигроскопичны и химически инертны, они устойчивы в условиях морского тумана. Кроме того, они обладают повышенной радиационной стойкостью, поскольку именно радиация является необходимой «питательной» средой для создания центров окраски в кристаллах NaF, обеспечивающих их функциональные рабочие характеристики поглощения излучения в видимом диапазоне. ИК-светофильтры на основе кристаллов NaF, полученные по предлагаемому способу, устойчивы к радиационным ударам и долговременным радиационным воздействиям.

Дополнительным преимуществом предлагаемого изобретения является возможность выполнения получаемыми ИК-светофильтрами не только функции покрытия-фильтра (роль покрытия выполняет модифицированный приповерхностный слой, насыщенный агрегатными центрами окраски), но и функции линза-фильтр. Последнее дости-

гается, если облучаемый ионами He^+ кристалл фторида натрия изготавливают изначально в форме линзы.

Пример 1. Светофильтр на основе кристалла NaF, получаемый путем облучения одной из граней (рабочей грани) кристалла пучком ионов гелия He^+ с энергией 3 МэВ до флюенса $1,2 \cdot 10^{16}$ ион/см². Спектр поглощения светофильтра в диапазоне 200 – 1000 нм показан на фиг. 1. Светопоглощающий слой имеет толщину 5 – 7 мкм. Интенсивное поглощение излучения наблюдается в диапазоне длин волн 300 – 600 нм. Основным максимум поглощения приходится на область 450 – 550 нм. Начиная с 0,8 мкм, поглощение вплоть до 12 мкм отсутствует.

Пример 2. Светофильтр на основе кристалла NaF, получаемый путем облучения одной из граней кристалла пучком ионов гелия He^+ с энергией 4,6 МэВ до флюенса $3 \cdot 10^{16}$ ион/см². Светопоглощающий слой имеет толщину 8–10 мкм. Светофильтр прозрачен для ИК-излучения в диапазоне длин волн 0,8–12 мкм, в области длин 300 – 600 нм происходит практически полное поглощение излучения. Коэффициент поглощения не ниже 10^4 – 10^5 см⁻¹. Пропускается лишь слабая компонента красного излучения в области длин волн 650 – 750 нм. Свечение, соответствующее спектру солнца и спектру дневного неба, практически полностью поглощается.

Пример 3. Светофильтр на основе кристалла NaF, получаемый путем последовательного облучения вначале рабочей грани кристалла, а затем противоположной ей грани пучком ионов гелия He^+ с энергией 1,5 МэВ до флюенса $2 \cdot 10^{16}$ ион/см² для каждой грани. Светопоглощающий слой имеет толщину 5 – 8 мкм. Светофильтр прозрачен для ИК-излучения в диапазоне длин волн 0,8–12 мкм, в области длин 300 – 600 нм происходит практически полное поглощение излучения. Коэффициент поглощения $2 \cdot 10^4$ – 10^5 см⁻¹. Пропускается лишь слабая компонента красного излучения в области длин волн 650 – 750 нм. Свечение, соответствующее спектру солнца и спектру дневного неба, практически полностью поглощается.

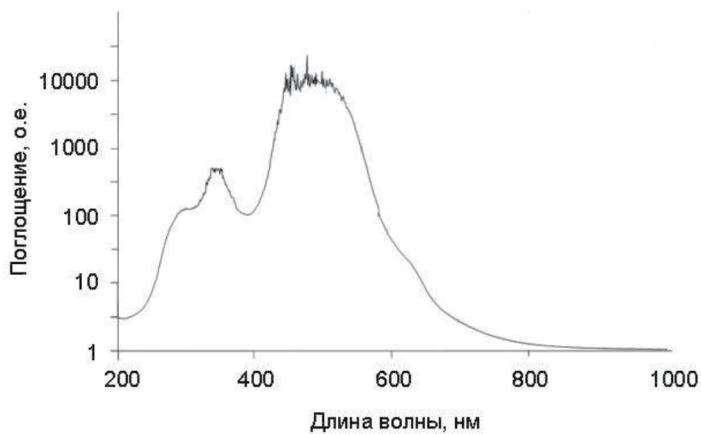
Пример 4. Светофильтр на основе кристалла NaF, получаемый путем облучения одной из граней кристалла пучком ионов гелия He^+ с энергией 3 МэВ до флюенса $2 \cdot 10^{15}$ ион/см². Светопоглощающий слой имеет толщину 4–5 мкм. Светофильтр прозрачен для ИК-излучения в диапазоне длин волн 0,8–12 мкм. Наблюдается поглощение излучения видимого диапазона в области 300 – 600 нм, однако, коэффициент поглощения невелик, он не превышает 1000 см⁻¹, и функции полного поглощения видимого света не выполняются, т. е. видимый свет не отфильтровывается.

Пример 5. Светофильтр на основе кристалла NaF, получаемый путем облучения одной из граней кристалла пучком ионов гелия He^+ с энергией 4,6 МэВ до флюенса $5,1 \cdot 10^{16}$ ион/см². Светопоглощающий слой имеет толщину 8–10 мкм. Светофильтр прозрачен для ИК-излучения в диапазоне длин волн 0,8–12 мкм, в области длин 300 – 600 нм происходит практически полное поглощение излучения. Коэффициент поглощения не ниже $5 \cdot 10^4$ – 10^5 см⁻¹. Пропускается лишь слабая компонента красного излучения в области длин волн 650 – 750 нм. Свечение, соответствующее спектру солнца и спектру дневного неба, практически полностью поглощается. Особых преимуществ перед примером 2 этот пример не имеет. Однако время облучения в примере 5 возрастает в 1,7 раза, что ведет к неоправданному удорожанию изготовления светофильтров.

Формула изобретения

1. Способ изготовления инфракрасного светофильтра на основе кристалла фторида натрия путем облучения кристалла фторида натрия пучком ионов гелия He^+ с энергией 1,5 – 4,6 МэВ, отличающийся тем, что облучение рабочей грани кристалла ведут до флюенса $(1,2 - 3,0) \cdot 10^{16}$ ион/см².

2. Способ изготовления инфракрасного светофильтра по п. 1, отличающийся тем, что последовательно облучают вначале рабочую грань кристалла, а затем противоположную ей грань до флюенса $(1,2 - 3,0) \cdot 10^{16}$ ион/см² на каждую грань.



Фиг. 1

Патент № 2270462 РФ. Термолюминесцентный дозиметрический комплекс / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, В. Ю. Иванов, А. И. Слесарев, А. В. Анипко, Б. К. Джолдошов, С. Pedrini, B. Hautefeuille, J.-M. Fourmigue. Заявл. 28.07.2004; опубл. 20.02.2006. Бюл. № 5.

Реферат

Предложен термолюминесцентный дозиметрический комплекс, пригодный для регистрации рентгеновского, гамма- и электронного излучения.

Суть изобретения заключается в том, что в качестве термолюминесцентного детектора в комплексе используют термолюминесцентный детектор, выполненный в виде кристаллического волокна на основе термолуминофорных фторидных, оксидных или сульфидных материалов, со светоотражающим покрытием по всей длине волокна, один конец которого снабжен зеркальным отражателем, а другой имеет стыковочный узел, через который высвечиваемая волоконным термолюминесцентным детектором светосумма поступает в волоконно-оптический кабель связи, соединенный с фотоприемником и блоком управления и обработки сигналов, а нагреватель выполнен в виде чехла из металлической фольги, плотно охватывающей волоконный термолюминесцентный детектор.

Использование волокна в качестве ТЛД-детекторов повышает удельную (на единицу массы или объема) чувствительность детектора, поскольку обеспечивает светосбор в полном телесном угле, близком к 4π, и создает условия для удаленного расположения фотоприемника, при котором защитные светофильтры и микрохолодильники, применяемые в известных дозиметрических комплексах, не требуются. Кроме того, устройство способно работать в полях ионизирующих излучений повышенной интенсивности и в смешанных полях излучений. В первом случае волокно не только запасаает в себе светосумму, продолжая работать в режиме накопления и запоминания информации о дозе и флюенсе облучения, но и начинает работать в режиме *on line* как люминесцентный токовый детектор, информируя о превышении опасных пороговых уровней излучения.

Описание изобретения

Изобретение относится к области ядерного приборостроения, оно связано с разработкой дозиметрических комплексов интегрирующего типа, а именно с разработкой термолюминесцентных дозиметрических комплексов для регистрации рентгеновского, гамма- и электронного излучения, комплексов, используемых в стационарных условиях, в том числе и для индивидуальной дозиметрии, а также в качестве контролирующих дозиметрических комплексов сопровождения транспортных ядерно-энергетических установок наземного, подводного и космического базирования.

Все известные термолюминесцентные дозиметрические комплексы (ТЛД-комплексы) включают в себя термолюминесцентный детектор (ТЛД), нагреватель ТЛД-детектора, фотоприемник, а также электронный блок управления и обработки сигналов. Во всех известных ТЛД-комплексах в качестве ТЛД используют радиационно-чувствительные термолуминофорные материалы (например, LiF, NaF, CaF₂, SrF₂, BeO, Al₂O₃, Li₂B₄O₇, Bi₄Ge₃O₁₂ и другие) в виде монокристаллических или поликристаллических дисков (таблеток) со стандартными размерами: диаметром 5 мм, толщиной 1 мм. Во всех известных термолюминесцентных дозиметрических комплексах фотоприемник, как правило, измеряет только часть (не более половины) светосуммы, высвечиваемой детектором со стороны ТЛД-диска (таблетки), обращенной к фотоприемнику, т. е. фотоприемник регистрирует термолюминесценцию в телесном угле, не превышающем 2π.

В предлагаемом термолюминесцентном дозиметрическом комплексе принципиально новым техническим решением является использование термолюминесцентных детекторов не в виде дисков, а в виде кристаллических волокон из радиационно-

чувствительных светозапасующих термолуминофорных материалов, хранящих информацию о дозе облучения.

Известен термолуминесцентный дозиметрический комплекс – автоматизированный комплекс индивидуального дозиметрического контроля АКИДК-201 (Рекламный листок Ангарского электролизного химического комбината), пригодный для регистрации фотонного (гамма- и рентгеновского) излучения. Термолуминесцентный детектор известного комплекса представляет собой диск из монокристаллического фторида лития, активированного магнием и титаном – ТЛД-детектор марки ДТГ-4. Нагрев термолуминесцентного дискообразного детектора в известном комплексе осуществляют с помощью генератора тока высокой частоты. Считывание дозиметрической информации с ТЛД-детектора при его термовывесчивании осуществляют с помощью фотоприемника (фотоэлектронного умножителя), расположенного в непосредственной близости от нагретого детектора. Для снижения температуры фотоприемника в известном термолуминесцентном дозиметрическом комплексе используют микрохолодильник, что усложняет и удорожает конструкцию детектора. Кроме того, в известном термолуминесцентном дозиметрическом комплексе обеспечивается светособирание ТЛД детектора только в 2π телесном угле. При этом теряется не менее 50 % высвечиваемой детектором светосуммы, что уменьшает почти в два раза удельную чувствительность ТЛД-детектора в сравнении с таковой при светособирании в 4π -геометрии.

Известен термолуминесцентный дозиметрический комплекс с блоком регистрации (Заявка 3913577/31–25 РФ от 24.06.85), содержащий ТЛД-детектор, размещенный в светонепроницаемой камере с нагревательным элементом напротив установленного в ней фотоприемника, причем термолуминесцентный детектор выполнен из анион-дефектного корунда в виде диска с центральным отверстием, а нагревательный элемент изготовлен в виде части штока, представляющего собой цилиндр переменного сечения, заканчивающийся конусообразной иглой. Однако известный термолуминесцентный дозиметрический комплекс обеспечивает светособирание с термолуминесцентного ТЛД-детектора только в 2π -геометрии. При этом теряется не менее 50 % высвечиваемой детектором светосуммы, что уменьшает почти в два раза удельную чувствительность детектора в сравнении с таковой при светособирании в 4π -геометрии. Кроме того, в известном ТЛД-комплексе отсутствует возможность передачи высвечиваемой детектором светосуммы на удаленный от разогретого детектора и нагревателя фотоприемник. Приходится работать с нагревательным элементом, установленным напротив фотоприемника, что повышает уровень тепловых шумов фотоприемника и снижает чувствительность ТЛД-комплекса в целом.

Известен термолуминесцентный дозиметрический комплекс – система «Сапфир 001» (Russian state standard Committee Certificate № 2024 on approval of measurement means dated 18.01.1996. Рекламный листок). Система предназначена для измерения дозы рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне 0,01–200 мЗв. Известный термолуминесцентный дозиметрический комплекс имеет кассету, содержащую 4 ТЛД-детектора (ТЛД-500К) в виде таблеток из Al_2O_3 диаметром 5 мм и толщиной 1 мм, с нагревателем в виде пластины накаливания. Однако известный термолуминесцентный дозиметрический комплекс обеспечивает светособирание с термолуминесцентного детектора только в 2π -геометрии. При этом теряется не менее 50 % высвечиваемой детектором светосуммы, что уменьшает почти в два раза удельную чувствительность детектора в сравнении с таковой при светособирании в 4π -геометрии. В известном детекторе нагреватель с термолуминофором располагаются вблизи от фотоприемника, что повышает уровень тепловых шумов фотоприемника и снижает чувствительность ТЛД-комплекса в целом. В известном комплексе не предусмотрена возможность передачи высвечиваемой детектором светосуммы на удаленный от нагревателя фотоприемник.

В других известных аналогичных термолюминесцентных дозиметрических комплексах (например, А. с. 936704 СССР; Модель № 2000D фирмы HarShaw Chemical Company USA, каталог 1982 г.; Пат. 1059514 Великобритании) термолюминесцентные детекторы, входящие в состав ТЛД-комплексов, имеют вид дисков, с которых собирается светосумма в условиях 2π -геометрии, т. е. теряется до 50 % информации, фотоприемники расположены в непосредственной близости от нагревателей, что не обеспечивает высокой удельной чувствительности ТЛД-детекторов и дозиметрических комплексов в целом.

Известен термолюминесцентный дозиметрический комплекс (Шварц К. К. Некоторые вопросы техники измерения в термолюминесцентной дозиметрии / К. К. Шварц, М. М. Грубе. Радиационная физика: сб. науч. тр. Рига: Зинатне. 1967. Вып. 5. С. 237–257), содержащий детектор на основе дискообразного кристаллического LiF (или порошкообразного LiF, сбрикетированного в таблетку) и нагревательный элемент в виде тонкой металлической пластины ($0,15 \times 4 \times 10 \text{ мм}^3$) и фотоприемник. Однако в известном термолюминесцентном комплексе фотоприемник расположен непосредственно перед нагревателем, что создает сильный тепловой фон.

Для уменьшения теплового фона известный комплекс содержит светофильтр, что снижает чувствительность комплекса из-за неизбежных потерь в светофильтре. Недостатком известного термолюминесцентного дозиметрического комплекса является также то, что светособирание с ТЛД-детектора в нем осуществляется в 2π -геометрии. При этом теряется не менее 50 % высвечиваемой детектором светосуммы, что уменьшает почти в два раза удельную чувствительность детектора в сравнении с таковой при светособирании в 4π -геометрии.

Наиболее близким к заявляемому является термолюминесцентный дозиметрический комплекс (Optical fiber Sensor based on optically stimulated luminescence for gamma-radiation detection / L. Albert [et al.] // Book of abstracts 3-rd Int. Symp. «Luminescent Detectors and Transformers of ionizing Radiation» LUMDETR'97, 1997. P. 1–2). Известный термолюминесцентный дозиметрический комплекс содержит термолюминесцентный детектор, изготовленный из радиационно-чувствительных термолюминесцентных материалов на основе щелочно-земельных сульфидов, чувствительный к ультрафиолетовому, рентгеновскому или гамма-излучению. Термовысвечивание осуществляют с помощью инфракрасного излучения лазерного диода ($\lambda = 858 \text{ нм}$), играющего роль нагревателя. Фотоприемником в известном термолюминесцентном дозиметрическом комплексе служит фотоэлектрический умножитель, который принимает сигнал с ТЛД-детектора через стыковочный узел (connector) с помощью волоконно-оптического кабеля связи. Сигналы с фотоприемника обрабатываются блоком управления и обработки сигналов. Однако известный термолюминесцентный дозиметрический комплекс имеет ТЛД-датчик, выполненный из термолюминофорного материала в виде диска. Недостатком такого комплекса является то, что светособирание с дискообразного ТЛД-детектора в нем осуществляется в 2π -геометрии, при которой теряется значительная часть высвечиваемой детектором светосуммы, что уменьшает чувствительность детектора.

Предлагаемое устройство – термолюминесцентный дозиметрический комплекс, схема которого приведена на фиг. 1, содержит волоконный термолюминесцентный детектор 1, со светоотражающим покрытием 2 и зеркальным торцом 3, на одном из краев волокна закреплен плотно прилегающий к нему нагреватель 4 в виде чехла из металлической фольги, волоконный термолюминесцентный детектор 1 через стыковочный узел 5 соединен с помощью волоконно-оптического кабеля 6 с фотоприемником 7, сигнал с которого поступает на электронный блок управления (нагревателем) и обработки сигналов 8; блок управления соединен с нагревателем с помощью кабеля 9. Волоконный термолюминесцентный детектор 1 вместе с отражающим покрытием по всей длине 2, зеркаль-

ным торцом 3, нагревателем 4 и стыковочным узлом образует термолюминесцентный датчик 10.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. После облучения волоконного термолюминесцентного детектора 1 при температуре 300 К рентгеновским или гамма-излучением или электронами в нем накапливается информация о дозе облучения в виде запасенной светосуммы. По сигналу с микропроцессорного блока управления и обработки информации 8 включается нагреватель 4, обеспечивающий заданную скорость нагрева (например, 0,1 – 0,4 К/с) термолюминесцентного детектора. При определенной температуре (температуре пика термостимулированной люминесценции (ТСЛ)), происходит высвечивание светосуммы, запасенной в детекторе под действием излучения. Если в качестве термолюминесцентного детектора используют волокно на основе NaF:U , Cu , то основной пик ТСЛ ($\lambda = 540 - 670$ нм) наблюдается при температуре 360 – 420 К. Для волокна $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ пик ТСЛ ($\lambda = 505$ нм) наблюдается при температуре 355 – 390 К, а для волокна Al_2O_3 ($\lambda = 410, 510$ и 693 нм) при температуре 448 К. Таким образом, позиции пиков ТСЛ для волоконных ТЛД-детекторов (изготовленных на основе известных фторидных или оксидных материалов NaF:U , Cu ; NaF:U ; LiF:U , Cu ; LiF:U ; LiF:Ti ; Mg , Al_2O_3 ; $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ или щелочноземельных сульфидов) в виде волокон такие же, как и для дискообразных ТЛД-детекторов, изготовленных из тех же материалов. Высвечиваемая светосумма собирается с помощью светоотражающего покрытия 2 и торцевого зеркала 3 в телесном угле, близком к 4π и по волокну 1 через стыковочный узел 5 поступает в волоконно-оптический кабель 6, с помощью которого она поступает на фотоприемник, изготовленный, например, в виде матрицы из приборов с переносом заряда: ПЗС-матрицы, имеющей достаточно высокую чувствительность в видимом диапазоне. Последняя обеспечивает регистрацию ТСЛ для всех вышеуказанных ТЛД-детекторов, излучающих в видимом диапазоне спектра. Далее сигналы с ПЗС матрицы поступают на блок управления и обработки сигналов, который выдает информацию о дозе облучения.

Принципиальное преимущество предлагаемого термолюминесцентного дозиметрического комплекса заключается в том, что в нем в качестве сенсорного элемента используют кристаллические волокна из неорганических радиационно-чувствительных материалов, по сути из тех же материалов, которые применялись для традиционных дискообразных ТЛД-детекторов с теми же самыми позициями пиков ТСЛ. Использование волокна в качестве ТЛД-детекторов повышает удельную (на единицу массы или объема) чувствительность детектора, поскольку обеспечивает светосбор в полном телесном угле, близком к 4π , и создает условия для удаленного расположения фотоприемника, при котором защитные светофильтры и микрохолодильники, применяемые в известных дозиметрических комплексах, не требуются.

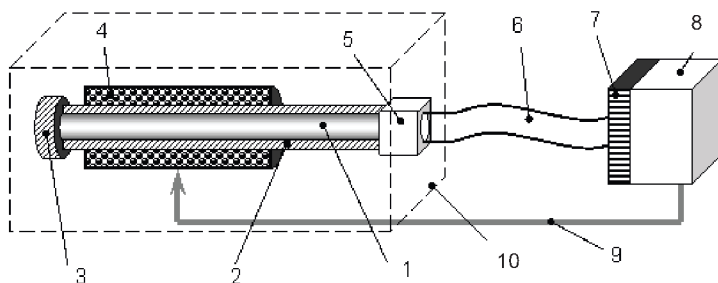
Повышение удельной чувствительности ТЛД создает условия для микроминиатюризации датчиков, которые могут быть использованы при определении и контроле дозозатрат космонавтов, работающих в открытом космосе или при определении дозозатрат элементов, солнечных батарей или оптико-электронных схем, расположенных на поверхности космических аппаратов, работающих в радиационных поясах Земли.

Дополнительным преимуществом предлагаемого устройства является особенность его работы в полях ионизирующих излучений повышенной интенсивности и в смешанных полях излучений. В первом случае волокно не только запасает в себе светосумму, продолжая работать в режиме накопления и запоминания информации о дозе и флюенсе облучения, но и начинает работать в режиме on line как люминесцентный токовый детектор, информируя о превышении опасных пороговых уровней излучения. Во втором случае при работе в смешанных полях излучений термолюминесцентные волоконные детекторы изготавливают из разных веществ. Например, из $^6\text{LiF:U,Cu}$ изготавливаются ТЛД-детекторы для регистрации нейтронов и фотонного излучения, а из $^7\text{LiF:U,Cu}$, из анион-дефектного корунда Al_2O_3 , из $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ или сульфидов щелочнозе-

мельных металлов изготавливают для регистрации рентгеновского и гамма-излучения. В этом случае применяют несколько термолуминесцентных датчиков типа датчика 10, изображенного на фиг. 1. Каждый датчик снабжен своим ТЛД-детектором, избирательно чувствительным к тому или иному виду ионизирующего излучения, а также индивидуальными кабелями волоконно-оптической связи, сигналы с которых обрабатываются одним общим фотоприемником и электронным блоком управления и обработки сигналов.

Формула изобретения

Термолуминесцентный дозиметрический комплекс, включающий термолуминесцентный детектор, нагреватель термолуминесцентного детектора, волоконно-оптический кабель связи, фотоприемник, электронный блок управления и обработки сигналов, отличающийся тем, что в качестве термолуминесцентного детектора используют детектор, выполненный в виде кристаллического волокна на основе термолуминофорных фторидных, оксидных или сульфидных материалов, со светоотражающим покрытием по всей длине волокна, один конец которого снабжен зеркальным отражателем, а другой имеет стыковочный узел волоконно-оптического кабеля связи, соединенного с фотоприемником и блоком управления и обработки сигналов, а нагреватель выполнен в виде чехла из металлической фольги, плотно охватывающей волоконный термолуминесцентный детектор.



Фиг. 1

Патент № 2270463 РФ. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, С. В. Маркс, В. Л. Петров. Заявл. 16.11.2004; опубл. 20.02.2006. Бюл. № 5.

Реферат

Изобретение относится к неорганическим сцинтилляционным материалам, предназначенным для регистрации тепловых нейтронов и пригодным для создания на их основе радиационных детекторов для радиоэкологического мониторинга территорий, контроля космического и техногенного нейтронного фона, для создания комплексов технического контроля за первичным ядерным топливом и за изделиями из делящихся материалов, а также для создания антитеррористических комплексов нейтронного контроля.

Суть изобретения заключается в том, что сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов на базе кристалла ${}^6\text{LiF}\cdot\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ дополнительно содержит изотоп гелия ${}^3\text{He}$ при следующем соотношении компонентов, ат. %: ${}^6\text{LiF}\cdot\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 99,94–99,98; изотоп гелия ${}^3\text{He}$ 0,02–0,06.

Описание изобретения

Изобретение относится к неорганическим сцинтилляционным материалам, предназначенным для регистрации тепловых нейтронов и пригодным для создания на их основе сцинтилляционных детекторов для радиоэкологического мониторинга территорий, контроля космического и техногенного нейтронного фона, для создания комплексов технического контроля за первичным ядерным топливом и за изделиями из делящихся материалов, а также для создания антитеррористических комплексов радиационного контроля.

Для обнаружения и регистрации тепловых нейтронов сцинтилляционным методом необходимо, чтобы вещество сцинтиллятора обладало достаточно высоким световыходом сцинтилляций и, главное, повышенным сечением взаимодействия с тепловыми нейтронами в рамках возможных ядерных реакций типа (n, α), или (n, p), или (n, γ), поскольку именно этот параметр определяет основную техническую характеристику сцинтиллятора: эффективность регистрации тепловых нейтронов. Последняя определяется как отношение числа зарегистрированных тепловых нейтронов к числу тепловых нейтронов, попавших в сцинтиллятор. Чтобы регистрировать тепловые нейтроны, вещество сцинтиллятора должно их чувствовать, взаимодействовать с ними. Так, сцинтиллятор на основе NaI:Tl, обладающий рекордно высоким световыходом сцинтилляций при регистрации гамма-излучения (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с.; Группен К. Детекторы элементарных частиц: справочное издание / К. Группен; пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с) практически не пригоден для регистрации тепловых нейтронов, поскольку ядра элементов, образующих вещество сцинтиллятора NaI:Tl не взаимодействует с тепловыми нейтронами. Напротив, сцинтилляторы, в состав которых входят, например ядра ${}^6\text{Li}$, или ${}^{10}\text{B}$, или другие ядра, имеющие высокое сечение взаимодействия с тепловыми нейтронами, обладают эффективностью их регистрации, достаточной для использования в сцинтилляционных счетчиках.

Поскольку нейтронное излучение делящихся материалов (ДМ) всегда сопровождается гамма-излучением, то для повышения обнаружительной способности сцинтиллятора по отношению к ДМ необходимо, чтобы сцинтиллятор одновременно мог регистрировать и гамма-излучение. Для таких сцинтилляторов в индивидуальной (персональной) дозиметрии дополнительным требованием является требование их тканеэквивалентности: их эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}}$ должен быть равен или близок к эффективному атомному номеру биологической ткани ($Z_{\text{эф, биол}} = 7,42$). Это требование не

является обязательным для производственной дозиметрии нейтронов, однако, оно актуально для персональной дозиметрии.

Известен сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов на основе кристалла ${}^6\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ (Пат. 2148837 РФ). Он содержит ${}^6\text{Li}$ -изотоп и регистрирует тепловые нейтроны по реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ с сечением захвата 940 барн (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Группен К. Детекторы элементарных частиц: справочное издание / К. Группен; пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с). Однако сцинтиллятор ${}^6\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ обладает невысокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов из-за недостаточно высокого сечения реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$. Кроме того, кристаллы ${}^6\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ нетехнологичны, имеют высокую степень дефектности, а их эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}}$ существенно превышает $Z_{\text{эф}}$ биологической ткани, и требование тканееквивалентности сцинтиллятора – необходимое условие индивидуальной дозиметрии, не выполняется.

Известен сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов на основе кристалла NaI:Tl с чехлом-радиатором из борсодержащего материала, окружающего кристалл NaI:Tl (Пат. 2189057 РФ). Толщина радиатора, изготовленного из карбида или нитрида бора, достаточна для полного поглощения тепловых нейтронов ядрами ${}^{10}\text{B}$. Сечение захвата тепловых нейтронов естественной смесью изотопов бора составляет 767 барн, а для чистого изотопа ${}^{10}\text{B}$ – 3837 барн. Недостатком известного сцинтиллятора (Пат. 2189057 РФ) является недостаточно высокое сечение взаимодействия с тепловыми нейтронами и высокая гигроскопичность применяемого кристалла NaI:Tl . Последнее делает его ненадежным в эксплуатации. Все известные потенциальные борсодержащие сцинтилляторы (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с.; Группен К. Детекторы элементарных частиц: справочное издание / К. Группен; пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с.; Огородников И. Н., Кружалов А. В. // Изв. вузов. Физика. 1996. Т. 39, № 11. С. 76–93) обладают недостаточно высокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов из-за невысокого сечения реакции для естественной смеси изотопов бора (767 барн). Кроме того, для NaI:Tl $Z_{\text{эф}} = 54$, что в 7–8 раз превышает $Z_{\text{эф}}$ биологической ткани, т. е. требование тканееквивалентности сцинтиллятора – необходимое условие индивидуальной дозиметрии, не выполняется.

Известна сцинтилляционная композиция из кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и пластика или стильбена (Пат. 2158011 РФ) для регистрации быстрых нейтронов и гамма-излучения. Однако такая сцинтилляционная композиция нечувствительна к тепловым нейтронам.

Известен сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов на основе кристалла NaI:Tl с чехлом-радиатором из серебра (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с). Серебро эффективно поглощает нейтроны резонансных энергий и испускает гамма-кванты по реакции (n, γ) . Последние и регистрируются кристаллом NaI:Tl . Резонансные реакции (n, γ) на естественной смеси изотопов серебра имеют сечение взаимодействия 86,3 барн для медленных и промежуточных нейтронов и 63,3 барн для тепловых нейтронов. Однако стоимость такого детектора высока из-за высоких цен на серебро. Применение изотопа ${}^{109}\text{Ag}$ для регистрации тепловых нейтронов (сечение 91 барн) при работе в сочетании с NaI:Tl нецелесообразно из-за низкого сечения взаимодействия и малого периода полураспада ${}^{109}\text{Ag}$, равного всего 24,6 суткам. Таким образом, эффективность регистрации тепловых нейтронов таким сцинтиллятором невысокая. Кроме того, условие тканееквивалентности для сцинтиллятора NaI:Tl не выполняется.

Известен сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов в виде сцинтилляционной композиции из трех параллельно-последовательно соединенных сцинтилляторов (Пат. 2143711 РФ), один из которых, выполненный на основе ${}^6\text{Li}$ -силикатного стек-

ла, чувствителен к тепловым нейтронам. Однако эффективность регистрации тепловых нейтронов таким сцинтиллятором, определяемая соответствующим сечением реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha)T$ (сечение реакции равно 940 барн), невысокая и, кроме того, для него не выполняется условие тканеэквивалентности.

Известен сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов на основе ${}^6\text{LiI:Eu}$ (Павловская Т. Ф. [и др.] // ПТЭ. 1970. № 1. С. 90), который обладает длительностью сцинтилляций ~ 1 мкс, световыходом $\sim 0,1$ относительно световыхода CsI:Ti. Однако известный сцинтиллятор регистрирует тепловые нейтроны за счет реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha)T$ с сечением 940 барн, т. е. эффективность регистрации тепловых нейтронов этим сцинтиллятором невысокая. Кроме того, известный сцинтиллятор LiI:Eu характеризуется наличием бета-активности продуктов радиоактивного распада, образовавшихся в результате реакций (n, γ) , (n, p) и $(n, 2n)$ на ядрах йода, что повышает уровень его шумов. Для LiI:Eu не выполняется требование тканеэквивалентности, он не пригоден для метрологически выдержанной персональной дозиметрии.

Известен сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов (А. с. 1380465 СССР) на основе состава $\text{Sr}_3\text{Y}_{1-x}\text{Gd}_x(\text{PO}_4)_3$, где $x = 0,3-0,5$ с максимумом спектра свечения при 313 нм и длительностью сцинтилляций 370 нс. Однако для сцинтиллятора $\text{Sr}_3\text{Y}_{1-x}\text{Gd}_x(\text{PO}_4)_3$ сцинтилляционная эффективность регистрации нейтронов по реакции (n, α) недостаточно высока. Она составляет 0,3 относительно таковой для эталона ${}^6\text{LiI:Eu}$. Для известного сцинтиллятора не выполняется требование тканеэквивалентности.

Известно применение состава $\text{Gd}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$ (А.с. 1106281 СССР) в качестве сцинтиллятора для регистрации тепловых нейтронов. Однако сцинтилляционная эффективность этого состава при регистрации нейтронов по (n, α) -реакции невысока, она равна 0,15–0,20 относительно таковой для ${}^6\text{LiI:Eu}$. Эффективный атомный номер известного сцинтиллятора существенно выше $Z_{\text{эф}}$ биологической ткани, и требование тканеэквивалентности – необходимое условие индивидуальной дозиметрии, не выполняется.

Известен сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов на основе ${}^6\text{LiF:W}$ (New Thermal neutron detector LiF(W) / T. A. Charkina [et al.] Book of Abstracts Int. Conf. on Inorganic Scintillators and Their Applications, SCINT-95, 1995. P. 161). Известный сцинтиллятор ${}^6\text{LiF:W}$ имеет максимум свечения при 430 нм, длительность сцинтилляций – 40 мкс, коэффициент преломления – 1,40, плотность – 2,64 г/см³, эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}} = 8,2$, близкий к $Z_{\text{эф}}$ биологической ткани, температуру плавления – 1133 К. Однако он имеет невысокую сцинтилляционную эффективность, равную 0,1 относительно световыхода ${}^6\text{LiI:Eu}$.

Известен сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов (Заявка на изобретение 2003119786/28 РФ) на основе фторида кальция (99,25 – 99,59 ат. %), содержащего активатор фторид европия (0,4 – 0,7 ат. %) и изотоп ${}^3\text{He}$ (0,01 – 0,05 ат. %). Он имеет повышенный световыход сцинтилляций со спектром свечения в синей области с максимумом при 450 нм. Известный сцинтиллятор имеет повышенную чувствительность к тепловым нейтронам, благодаря наличию в нем дополнительно к изотопу ${}^6\text{Li}$ изотопа ${}^3\text{He}$ с сечением захвата тепловых нейтронов 4000 барн. Однако известный сцинтиллятор для тепловых нейтронов имеет эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}} = 16,5$, который более чем в два раза превышает эффективный атомный номер биологической ткани ($Z_{\text{эф, биол}} = 7,42$), и поэтому известный сцинтиллятор $\text{CaF}_2:\text{Eu}, {}^3\text{He}$ не пригоден для использования в индивидуальной дозиметрии.

Известен способ имплантации ионов He^+ в кристаллы LiF с использованием ускорителя ионов (Concentration of F_2 and F_3^+ defects in He^+ implanted LiF crystals determined by optical Transmission and photoluminescence measurements / F. Bonfigli [et al.] // Optical Materials. 2003. Vol. 24. P. 291–296). Ионы He^+ , имплантируемые в кристаллы LiF, имели энергию 1,5 – 2 МэВ, флюенс облучения составлял $6 \cdot 10^{13}$ – $2,5 \cdot 10^{16}$ ион/см². Одна-

ко получаемые по известному способу кристаллы LiF были имплантированы ионами гелиевого изотопа ^4He , имеющего крайне низкое сечение захвата тепловых нейтронов; известные составы LiF: ^4He не применялись для регистрации тепловых нейтронов, об их возможном или невозможном использовании в качестве детекторов тепловых нейтронов в известном источнике (Concentration of F_2 and F_3^+ defects In He^+ implanted LiF crystals determined by optical Transmission and photoluminescence measurements / F. Bonfigli [et al.] // Optical Materials. 2003. Vol. 24. P. 291–296) не упомянуто.

Наиболее близким к заявляемому по составу является сцинтиллятор на основе фторида лития, активированного азотнокислым уранилом $\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ (0,001 – 0,005 мол. %). В нем используется естественная смесь изотопов ^7Li и ^6Li (А. с. 1304584 СССР). Однако из-за низкого содержания изотопа ^6Li в естественной смеси изотопов лития (7,42 %) и невысокого сечения захвата тепловых нейтронов изотопом ^6Li (940 барн) известный детектор обладает недостаточно высокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов. Ранее этот известный сцинтиллятор был предложен для регистрации только заряженных частиц.

Таким образом, известные составы, содержащие изотоп ^6Li , применяемые в качестве сцинтилляторов для регистрации тепловых нейтронов обладают с недостаточно высоким сечением взаимодействия с тепловыми нейтронами 940 барн (реакция (n, α)) и соответственно недостаточно высокой эффективностью их регистрации. В предлагаемом изобретении применяют известный сцинтиллятор $\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ (в котором литий максимально обогащен изотопом ^6Li), в который дополнительно вводят изотоп ^3He тем или иным способом: методом термодиффузии или методом имплантации ускоренных ионов гелия ^3He в приповерхностные слои. В первом случае, когда изотоп ^3He введен в детектор методом термодиффузии, получают объемный сцинтиллятор; во втором, при поверхностной имплантации, получают тонкослойный чувствительный и тепловым нейтронам сцинтиллятор того же состава.

Сущность изобретения заключается в том, что предлагаемый сцинтиллятор (объемный или тонкослойный) на основе кристаллов фторида лития, активированных азотнокислым уранилом, имеет состав, ат. %: $^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 99,94–99,98; изотоп гелия ^3He 0,02–0,06. При дополнительном введении в известный состав изотопа ^3He эффективность регистрации тепловых нейтронов возрастает более чем на порядок по сравнению с эффективностью регистрации тепловых нейтронов кристаллами прототипа $\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$, содержащих естественную смесь изотопов ^7Li и ^6Li , и возрастает в 2 – 3 раза по сравнению с эффективностью регистрации тепловых нейтронов с помощью аналога $^6\text{LiF:W}$. Такое повышение эффективности регистрации тепловых нейтронов обусловлено тем, что их захват происходит на ядрах двух типов: на ядрах ^6Li (реакция (n, α) с сечением 940 барн) и на ядрах ^3He (реакция (n, p) с сечением захвата 4000 барн (Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений / В. П. Машкович, Л. В. Кудрявцева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 494 с)). Эффективный атомный номер предлагаемого сцинтиллятора близок к эффективному атомному номеру биологической ткани, что необходимо для персональной дозиметрии.

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтиллятора является его чувствительность к гамма-излучению, что повышает его способность к обнаружению делящихся материалов. Более того, дополнительным преимуществом является также то, что содержащийся в составе сцинтиллятора изотоп ^3He обеспечивает не только регистрацию тепловых нейтронов, но и регистрацию части надтепловых нейтронов благодаря их замедлению путем рассеяния на ядрах гелия, что также повышает обнаружительную способность сцинтиллятора к нейтронным потокам и делящимся материалам.

Пример 1. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов состава $^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ – 99,94 ат. %, изотоп ^3He – 0,06 ат. %. Сцинтиллятор получают в две ста-

дии. На первой стадии выращивают кристаллы ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ с содержанием $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,005 мол. % в виде були диаметром 30 – 50 мм, длиной 40 – 60 мм методом Киропулоса в платиновых тиглях на воздухе (Кидибаев М. М. Радиационно-стимулированные процессы в кристаллах $(\text{Li,Na})\text{F:U,Me}$ / М. М. Кидибаев. Каракол; Екатеринбург. Иссык-кульский государственный университет, 1999. 220 с). Затем из центральной части були вырезают кристалл под стандартный диаметр ~ 40 мм, толщиной 4–6 мм, которая достаточна для захвата тепловых нейтронов ядрами ${}^6\text{Li}$. Затем кристалл-заготовку помещают в барокамеру, в которой в кристалл вводят изотоп ${}^3\text{He}$ с помощью термодиффузии по методу А. Я. Купряжкина (Купряжкин А. Я., Куркин А. Д. // ФТТ. 1990. Т. 32, № 8. С. 2349–2354). В кристаллах LiF эффективно реализуется междоузельный, вакансионный и дислокационный механизмы термодиффузии с невысокой энергией активации и низкими энергиями растворения. Режим термодиффузии выбран (по известной температурной зависимости растворимости гелия и по известной зависимости растворимости гелия в кристаллах LiF от давления насыщения) таким, чтобы содержание ${}^3\text{He}$ в кристалле $\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$, ${}^3\text{He}$ было доведено до 0,06 ат. %. Полученные кристаллы обладали следующими свойствами: эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}} = 8,2$ близок к $Z_{\text{эф}}$ биологической ткани; спектр свечения имеет максимум при 530 нм; длительность основной компоненты сцинтилляции равна 4–6 мкс. Срок службы сцинтиллятора при комнатной рабочей температуре (при расчетном типовом коэффициенте междоузельной диффузии ~ 10^9 см/с) для кристалла с диаметром порядка 40 мм составляет по оценке несколько лет. Эффективность регистрации тепловых нейтронов в сравнении с таковой для сцинтиллятора $\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ возрастает в 11 раз. Она в четыре раза выше, чем у аналога ${}^6\text{LiF:W}$.

Пример 2. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов состава ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ – 99,98 ат. %, изотоп ${}^3\text{He}$ – 0,02 ат. %. Сцинтиллятор получают в две стадии. Вначале выращивают кристаллы ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ с содержанием $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,003 мол. % в виде були, как и в примере 1. Из центральной части вырезают кристалл диаметром 40 мм и толщиной 4–6 мм. Затем в кристалл вводят методом имплантации изотоп ${}^3\text{He}$ с энергией 1 – 3 МэВ при токе пучка 10^{-15} мкА. Полученные кристаллы имели поверхностный слой толщиной 5 – 10 мкм, насыщенный ионами ${}^3\text{He}$, который и выполнял функции тонкослойного сцинтиллятора-регистратора тепловых нейтронов, обладая повышенной эффективностью регистрации тепловых нейтронов, взаимодействующих с ядрами ${}^6\text{Li}$ в этом слое. Относительная сцинтилляционная эффективность нейтронно-чувствительного слоя в два раза выше, чем у аналога ${}^6\text{LiF:W}$, и в 6 – 8 раз выше, чем у прототипа.

Пример 3. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов состава ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ – 99,96 ат. %, изотоп ${}^3\text{He}$ – 0,04 ат. % получают так же, как в примере 1. Вначале выращивают кристалл ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$, а затем насыщают его изотопом ${}^3\text{He}$ методом термодиффузии. Полученный сцинтиллятор имел размеры $\varnothing = 40$ мм, $h = 4$ мм, имел эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}} = 8,2$, спектр свечения с максимумом в области 480 – 530 нм и сцинтилляционную эффективность в 2,7 раза выше, чем у аналога ${}^6\text{LiF:W}$ и в 8–10 раз выше, чем у прототипа.

Пример 4. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов состава ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ – 99,93 ат, изотоп ${}^3\text{He}$ (газ) – 0,07 ат. %. Содержание $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,001 мол. %. Выращивание кристаллов ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ с последующим введением в них изотопа ${}^3\text{He}$ методом термодиффузии проводят аналогично примеру 1, но при большем времени термодиффузии. Размеры сцинтиллятора, как в примере 1 (диаметр ~ 40 мм, толщина – 4–6 мм). Сцинтиллятор имеет пониженную на 30 % эффективность регистрации тепловых нейтронов по сравнению с эффективностью регистрации сцин-

тиллятором, описанным в примере 1. Последнее обусловлено появлением окраски кристалла, связанной с созданием дефектов-центров окраски и поглощения ими части свечения, испускаемого урановыми центрами.

Пример 5. Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов состава ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ – 99,99 ат. %, изотоп ${}^3\text{He}$ – 0,01 ат. % получен, как и в примере 1. Световых выход сцинтилляций оказался ниже, чем в примерах 1–4 из-за пониженного содержания в нем изотопа ${}^3\text{He}$.

Формула изобретения

Сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов, включающий фторид лития, активированный азотнокислым уранилом ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$, отличающийся тем, что он дополнительно содержит изотоп гелия ${}^3\text{He}$ (в объеме или приповерхностным слое) при следующем соотношении ингредиентов, ат. %: ${}^6\text{LiF:UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 99,94–99,98; изотоп ${}^3\text{He}$ 0,02–0,06.

Паент №. 2272301 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов / Д. В. Райков, Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, А. В. Кружалов, А. Н. Черепанов, В. Л. Петров, П. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 16.11.2004; опубл. 20.03.2006. Бюл. № 8.

Реферат

Использование: для детектирования быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, а также гамма-излучения, для обнаружения делящихся материалов и изделий из них, для радиационного обследования ядерных субмарин, подлежащих разборке, для решения задач Госатомнадзора и таможенного контроля по радиационному мониторингу, для служб дозиметрической и ядерной безопасности предприятий по переработке ядерного горючего, для служб по предотвращению акций ядерного терроризма.

Сущность изобретения: в устройстве, состоящем из датчика-сцинтиблока, включающего входной замедлитель нейтронов из водородосодержащего вещества, внутренний дискообразный сцинтиллятор из активированного церием ^6Li -силикатного стекла, находящийся в оптическом контакте с входным окном фотоэлектронного умножителя, и блока электронной обработки сигналов, дополнительно в датчике-сцинтиблоке за входным замедлителем нейтронов, выполненным в форме цилиндра с конусообразной полостью, расположены покрытый светоотражающей пленкой дополнительный входной сцинтиллятор из активированного церием ^6Li -силикатного стекла в форме полого конуса, дополнительный конусообразный замедлитель нейтронов и внутренний дискообразный сцинтиллятор из активированного церием ^6Li -силикатного стекла, при этом дополнительный входной сцинтиллятор в форме полого конуса расположен внутри входного замедлителя.

Технический результат: эффективная регистрация как быстрых, так и тепловых нейтронов, а также одновременная регистрации гамма-излучения, сопутствующего нейтронному излучению делящихся материалов.

Описание изобретения

Заявляемое устройство относится к области детектирования быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, а также гамма-излучения. Оно пригодно для использования в стационарных комплексах и системах радиационного контроля, а также в переносных устройствах, предназначенных для обнаружения делящихся материалов (урана, плутония, калифорния и изделий из них), для радиационного обследования ядерных субмарин, подлежащих разборке, для решения задач Госатомнадзора и таможенного контроля по радиационному мониторингу, для служб дозиметрической и ядерной безопасности предприятий по переработке ядерного горючего, для служб по предотвращению акций ядерного терроризма.

Известен селективный детектор нейтронов (Пат. 3688118 США). Он содержит электронный блок информации и два датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, а другой – только к заряженным частицам. Число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом с датчиков, выделяемым с помощью электронного блока. Однако для датчика, чувствительного одновременно к заряженным частицам и нейтронам, эффективность регистрации нейтронов не может быть высокой. Известный детектор нейтронов не пригоден для одновременной регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, он не является всеволновым детектором нейтронов.

Известен сцинтилляционный детектор СПС-Т4А (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990). Датчик детектора представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации быстрых нейтронов. Детектор имеет следующие ха-

рактеристики: длительность сцинтимпульса, создаваемого нейтронами – 8,5 нс; световой выход (УЕСВ по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ – 0,29; максимум спектра люминесценции – 490 нм, диаметр и высота – до 50 мм. Однако такой детектор не пригоден для одновременной регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, он не является всеволновым детектором нейтронов.

Известен сцинтилляционный детектор для измерения нейтронов и гамма-лучей (Пат. 4482808 США). Детектор содержит датчик-сцинтиллок, в частности сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако известный однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов. Описываемый детектор не обладает функциональными возможностями, необходимыми для одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов, он не является всеволновым детектором нейтронов.

Известен сцинтилляционный детектор для регистрации ионизирующего излучения (Пат. 2088952 РФ). Известный детектор содержит датчик-сцинтиллок и блок электронной обработки сигналов. Датчик-сцинтиллок состоит из последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также альфа-, бета-, гамма-излучениям, и световода, изготовленного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стиблена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, а также фотоэлектронного умножителя, преобразующего световые вспышки (сцинтилляции) в электрические сигналы. Блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него как от альфа-, бета-, гамма-сцинтиллятора $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (длительностью 300 нс), так и от сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов световода (с длительностью сцинтилляций 5 – 7 нс). Однако данный детектор, будучи чувствительным к быстрым нейтронам, не чувствителен к тепловым нейтронам и не пригоден для их регистрации. Известный сцинтилляционный детектор не является всеволновым детектором нейтронов.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов и гамма-излучения (Пат. 2189057 РФ). Детектор содержит датчик-сцинтиллок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор, (n, α , γ)-конвертор из карбида или нитрида бора, сцинтилляционный кристалл NaI:Tl и фотоэлектронный умножитель, а также блок электронной обработки информации. Однако такой детектор имеет целый ряд недостатков:

– эффективность фотосбора сцинтилляций, возникающих в пластике от быстрых нейтронов, невысока по целому ряду причин: (а) пластик соприкасается с фотоприемником (ФЭУ) не всей плоскостью, а только по периферийному кольцу; (б) площадь соприкосновения пластика с окном ФЭУ составляет 30 – 40 % от площади окна, поэтому эффективность фотосъема не превышает 30 – 40 % от фотосбора в режиме, когда сцинтиллятор соприкасался бы с ФЭУ всем своим рабочим торцом; (в) чехол (n, α , γ)-конвертора из карбида или нитрида бора является светонепроницаемым и часть сцинтилляций, возникающих в пластике, поглощается в чехле и не доходит до ФЭУ и, следовательно, не регистрируется;

- стойкость к удару такого детектора понижена, из-за высокой гигроскопичности сцинтилляционного кристалла NaI:Tl ;
- блок обработки сигналов известного детектора оказывается сложным из-за необходимости регистрации и обработки 4-х групп сигналов, различающихся по длительности и амплитуде.

Наиболее близким к заявляемому является сцинтилляционный детектор нейтронов на основе пластика и ^6Li -силикатного стекла (Пат. 2143711 РФ). Известный детектор

содержит датчик-сцинтиблок и блок электронной обработки сигналов. В состав датчика-сцинтиблока входят помещенные в единый корпус фотоэлектронный умножитель и три параллельно-последовательно соединенных сцинтиллятора: 1 – входной нейтронный сцинтиллятор, выполненный из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородосодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стильбена (сцинтиллятор с колодцем), играющий одновременно роль входного замедлителя быстрых нейтронов до тепловых энергий; 2 – размещенный в колодце входного сцинтиллятора сцинтилляционный кристалл NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительный к гамма-излучению; 3 – чувствительный к тепловым нейтронам внутренний сцинтиллятор на основе активированного церием ^6Li -силикатного стекла. Блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от двух нейтронно-чувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl . Однако известный детектор имеет целый ряд недостатков:

- эффективность фотосбора сигналов от быстрых нейтронов, возникающих в пластике $(\text{CH})_n$, невысока из-за того, что сигналы, во-первых, поступают на фотоприемник (ФЭУ) только по периферийному кольцу, обеспечивая фотосъем сцинтилляций на уровне до 30 – 40 % вследствие того, что кристалл NaI:Tl находится в непрозрачном корпусе и экранирует часть светового потока, возникающего в пластике, а во-вторых, вследствие того, что излучение быстрого пластикового сцинтиллятора не непосредственно попадает на ФЭУ, а поступает на него через стекло и частично поглощается в этом стекле, имеющем границу пропускания 350 – 380 нм, в результате чего может быть потеряно до 32 – 43 % полезной информации;
- пониженная стойкость к ударным нагрузкам, поскольку детектор содержит кристалл NaI:Tl , отличающийся высокой гигроскопичностью, что повышает требования к герметизации.

Таким образом, известный детектор, хотя и позволяет обнаруживать как быстрые, так и тепловые нейтроны, не может обеспечить их эффективную регистрацию.

Предлагаемое устройство – сцинтилляционный детектор – обеспечивает регистрацию с повышенной эффективностью быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов. Блок-схема заявляемого устройства приведена на фиг. 1. Предлагаемое устройство состоит из датчика-сцинтиблока и блока электронной обработки сигналов. В едином корпусе 1 датчика-сцинтиблока за входным замедлителем нейтронов 2 (в виде цилиндра с конусообразной полостью) размещены чувствительный к тепловым нейтронам покрытый световозвращающей пленкой 3 дополнительный входной сцинтиллятор 4, выполненный из активированного церием ^6Li -силикатного стекла в форме полого конуса, дополнительный конусообразный замедлитель нейтронов 5, и внутренний дискообразный сцинтиллятор 6 из ^6Li -силикатного стекла, находящийся в оптическом контакте с входным окном фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) 7. Сигналы с датчика-сцинтиблока поступают на блок электронной обработки сигналов 8, обеспечивающий подсчет сцинтилляций и определение плотности потока нейтронов, попадающих в датчик-сцинтиблок.

Сущность изобретения заключается в том, что датчик-сцинтиблок содержит дополнительный входной сцинтиллятор 4 в форме полого конуса с толщиной стенки (~4–5 мм), достаточной для захвата тепловых нейтронов (на ядрах изотопа ^6Li) и их регистрации. Дополнительный входной сцинтиллятор 4 со световозвращающей пленкой 3 расположен внутри входного замедлителя нейтронов 2, выполненного из водородосодержащего материала в виде цилиндра с полостью в форме конуса. Геометрия входного замедлителя нейтронов 2 обеспечивает следующее: вблизи оси входного замедлителя нейтронов 2 замедляются до тепловых энергий медленные нейтроны, а вдали от оси входного замедлителя нейтронов 2 замедляются до тепловых энергий промежуточные и

быстрые нейтроны. Геометрические размеры входного замедлителя нейтронов 2 выбираются такими, чтобы обеспечить замедление основной части нейтронов всех энергий первичного спектра (быстрых, промежуточных и медленных) до тепловых энергий. Часть промежуточных и быстрых нейтронов, попадающих в датчик-сцинтиллятор через зону, прилегающую к оси входного замедлителя нейтронов 2, не замедляется входным замедлителем нейтронов 2 до тепловых энергий и поэтому не регистрируется дополнительным входным сцинтиллятором 4. Однако эта группа нейтронов попадает в поле действия дополнительного конусообразного замедлителя нейтронов 5, замедляется им до тепловых энергий и регистрируется внутренним дискообразным сцинтиллятором 6.

Предлагаемое устройство благодаря двум замедлителям нейтронов с переменным сечением (замедлители 2 и 5) обеспечивает замедление всех нейтронов (быстрых, промежуточных и медленных) до тепловых энергий и их регистрацию с помощью двух сцинтилляторов (сцинтилляторы 4 и 6), обеспечивая всеволновой режим работы нейтронного детектора.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Регистрируемое нейтронное излучение, в частности от делящихся материалов с энергией 0,025 эВ–14 МэВ поступает в детектор через торец корпуса 1. Тепловые нейтроны (с энергией 0,025 эВ) первичного спектра и тепловые нейтроны, созданные в результате замедления быстрых, промежуточных и медленных нейтронов во входном замедлителе нейтронов 2, попадая в дополнительный входной сцинтиллятор 4, регистрируются им благодаря реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha)T$, продукты которой вызывают сцинтилляции с максимумом спектра свечения при 390–400 нм и длительностью 60–80 нс. Световые вспышки от дополнительного входного сцинтиллятора 4 через дополнительный конусообразный замедлитель нейтронов 5 из водородосодержащего вещества, прозрачный к сцинтилляциям с длиной волны 390–400 нм (что позволяет ему одновременно играть роль световода), и через внутренний дискообразный сцинтиллятор 6, также прозрачный к сцинтилляциям с длиной волны 390–400 нм, поступают на ФЭУ 7 и регистрируются им. Световозвращающая пленка 3 предназначена для увеличения светособирания световых вспышек (сцинтилляций) от дополнительного входного сцинтиллятора 4.

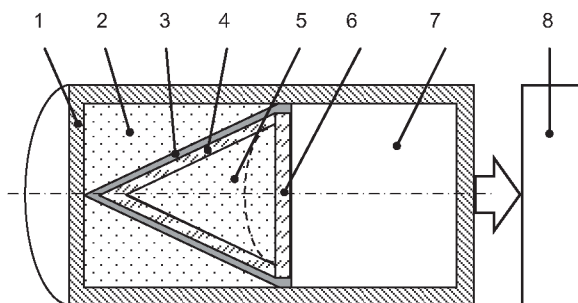
Та часть первичных нейтронов, как быстрых, так и промежуточных, которая прошла через входной замедлитель нейтронов 2 (с переменной по радиусу длиной пути замедления) и не замедлилась до тепловых энергий, и которая осталась незарегистрированной дополнительным входным сцинтиллятором 4, проходя через дополнительный конусообразный замедлитель нейтронов 5 из водородосодержащего материала (антибатный по длине замедления входному замедлителю нейтронов 2), замедляется им до тепловых энергий и попадает во внутренний дискообразный сцинтиллятор 6, содержащий также изотоп ${}^6\text{Li}$, и, взаимодействуя с ядрами изотопа ${}^6\text{Li}$ по реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha)T$, регистрируется. Светосбор этой части сцинтилляций осуществляют через оптический контакт с помощью ФЭУ 7 так же, как осуществляют светосбор сцинтилляций от дополнительного входного сцинтиллятора 4. Сигналы с ФЭУ в обоих случаях поступают в блок электронной обработки сигналов 8, работающий в счетном режиме.

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного детектора нейтронов является его способность регистрировать гамма-излучение, сопутствующее нейтронному излучению делящихся материалов и изделий из них. Такая возможность обусловлена достаточно высокой чувствительностью ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла к гамма-излучению делящихся материалов. Гамма-сцинтилляции имеют практически тот же спектр и длительность, что и сцинтилляции от нейтронов. Они регистрируются блоком электронной обработки сигналов, работающим в счетном режиме и проявляются как добавка к скорости счета от нейтронов. Это повышает обнаружительную способность детектора при поиске делящихся материалов (урана, плутония, калифорния и др) и изде-

лий из них, поскольку при этом обеспечивается их обнаружение сразу по двум характерным для них излучениям: нейтронному и гамма-излучению.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор нейтронов, состоящий из датчика-сцинтиблока, включающего входной замедлитель нейтронов из водородосодержащего вещества, внутренний дискообразный сцинтиллятор из активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла, находящийся в оптическом контакте с входным окном фотоэлектронного умножителя, и блока электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что в датчике-сцинтиблоке за входным замедлителем нейтронов, выполненным в форме цилиндра с конусообразной полостью, расположены покрытый светоотражающей пленкой дополнительный входной сцинтиллятор из активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла в форме полого конуса, дополнительный конусообразный замедлитель нейтронов и внутренний дискообразный сцинтиллятор из активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла, при этом дополнительный входной сцинтиллятор в форме полого конуса расположен внутри входного замедлителя.



Фиг. 1

Патент № 2276387 РФ. Сцинтиллятор для регистрации нейтронов / К. В. Ивановских, В. Ю. Иванов, В. Л. Петров, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 30.12.2004; опубл. 10.05.2006. Бюл. № 13.

Реферат

Предложен сцинтиллятор для регистрации быстрых и тепловых нейтронов с высокой эффективностью, способный селективно регистрировать нейтроны на гамма-фоне, а так же бета-излучение. Суть изобретения заключается в том, что, кристалл фторида кальция, активированный европием, содержащий изотоп гелия ^3He , дополнительно содержит водород; ингредиенты сцинтиллятора входят в него в соотношении, ат. %: CaF_2 99,25 – 99,59; EuF_3 0,39–0,66; ^3He 0,01 – 0,05; H 0,01 – 0,04. Регистрация быстрых нейтронов происходит за счет их рассеяния на водороде и появлении ядер отдачи – протонов. Регистрации тепловых нейтронов происходит за счет двух физических процессов: реакции (n, α) на ядрах Eu с сечением взаимодействия 4600 барн для естественной смеси изотопов европия и реакции (n, p) на ядрах ^3He с сечением взаимодействия 4000 барн. Характеристики сцинтиллятора: эффективность регистрации тепловых нейтронов 90 – 95 %, быстрых нейтронов 20 – 25 %, длина волны излучения 425 нм, длительность сцинтилляций 700 – 800 нс, диапазон рабочих температур от -50 до +50°C.

Описание изобретения

Изобретение относится к неорганическим сцинтилляционным материалам, предназначенным для регистрации как быстрых, так и тепловых нейтронов и пригодным для создания на их основе радиационных детекторов для радиоэкологического мониторинга территорий и акваторий, контроля подводных морских захоронений, контроля космического и техногенного нейтронного фона, для создания комплексов технического контроля за первичным ядерным топливом и за изделиями из делящихся материалов.

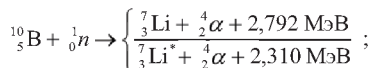
Для обнаружения и одновременного измерения плотности потока как быстрых, так и тепловых нейтронов сцинтилляционным методом необходимы специфические сцинтилляционные материалы. Они должны включать в свой состав водородсодержащие вещества, что необходимо для регистрации быстрых нейтронов по протонам отдачи, и одновременно содержать компоненты с повышенным сечением (вероятностью) взаимодействия с тепловыми нейтронами. К стандартным требованиям относятся следующие: сцинтилляционные материалы должны обладать длиной волны радиoluminesценции, согласующейся со спектральной чувствительностью фотоприемника, достаточно высоким световыходом сцинтилляций, малыми (нано- или микросекундными) временами свечения, а также достаточно широким диапазоном рабочих температур.

Известен неорганический сцинтиллятор на основе кристалла $^6\text{LiKSO}_4:\text{Cu}$ (Пат. 2148837 РФ), пригодный для регистрации тепловых нейтронов. Он обладает быстрыми сцинтилляциями длительностью 90 нс с длиной волны 435 – 445 нм. Однако он нетехнологичен, поскольку проблема получения крупных однородных кристаллов $^6\text{LiKSO}_4$ не решена, обладает невысоким световыходом сцинтилляций (30 % относительно световыхода кристаллов $\text{LiI}:\text{Eu}$) и, главное, недостаточно высоким сечением взаимодействия с тепловыми нейтронами, равным 940 барн, по реакции $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$, т. е. обладает невысокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов. Кроме того, сцинтиллятор $^6\text{LiKSO}_4:\text{Cu}$ непригоден для регистрации быстрых нейтронов, так как не содержит водородсодержащих компонент.

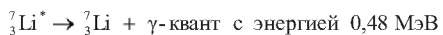
Известен комбинированный сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов на основе кристалла $\text{NaI}:\text{Tl}$ с чехлом-радиатором из борсодержащего материала, окружающего кристалл $\text{NaI}:\text{Tl}$ (Пат. 2189057 РФ). Толщина радиатора, изготовленного из карбида или нитрида бора, должна быть достаточной для поглощения всех тепловых нейтронов ядрами ^{10}B . Сечение захвата тепловых нейтронов естественной смесью изо-

топов бора составляет 767 барн, а для чистого изотопа ^{10}B – 3837 барн. Механизм регистрации тепловых нейтронов сводится к следующему. Вначале происходит захват тепловых нейтронов ядрами ^{10}B , что вызывает ядерную реакцию $(n, \alpha\gamma)$ -типа, которая протекает в две стадии:

– первая стадия:



– вторая стадия (через $\sim 10 - 1^3$ с после первой):



На первой стадии ядерной реакции часть ядер лития образуется в возбужденном состоянии ${}^7\text{Li}^*$, что обеспечивает протекание второй стадии реакции с испусканием гамма-кванта с энергией 0,48 МэВ. Этот гамма-квант, возникший вследствие реакции $(n, \alpha\gamma)$, регистрируется сцинтиллятором NaI:Tl. Быстрые нейтроны в известном комбинированном детекторе регистрируются по протонам отдачи органическим водородсодержащим сцинтиллятором, входящим в состав сцинтилблока. Недостатком известного сцинтиллятора (Пат. 2189057 РФ) является высокая гигроскопичность применяемого кристалла NaI:Tl, что делает его ненадежным в эксплуатации. Недостатком известного детектора является также его многокомпонентность (органический сцинтиллятор и неорганический, чехол из карбида или нитрида бора), т. е. детектор не является однокристалльным, что снижает светосбор сцинтилляций. Сцинтиллятор по пат. 2189057 РФ и другие борсодержащие сцинтилляторы обладают недостаточно высокой эффективностью регистрации тепловых нейтронов, поскольку сечение реакции $(n, \alpha\gamma)$ для естественной смеси изотопов бора не превышает 767 барн (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с.; Группен К. Детекторы элементарных частиц: справочное издание / К. Группен; пер. с англ. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. 408 с.; Огородников И. Н., Кружалов А. В. // Изв. вузов. Физика. 1996. Т. 39, № 11. С. 76–93).

Известен сцинтиллятор для регистрации медленных и промежуточных нейтронов на основе кристалла NaI:Tl с чехлом-радиатором из серебра (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с). Серебро эффективно поглощает нейтроны резонансных энергий и испускает гамма-кванты по реакции (n, γ) . Испускаемые гамма-кванты регистрируются кристаллом NaI:Tl. Однако резонансные реакции (n, γ) на естественной смеси изотопов серебра имеют низкие сечения взаимодействия 86,3 барн для медленных и промежуточных нейтронов и 63,3 барн для тепловых нейтронов. Кроме того, стоимость такого детектора высока из-за высоких цен на серебро. Применение изотопа ^{109}Ag , обладающего поглощением тепловых нейтронов (сечение – 91 барн) для работы в сочетании с NaI:Tl нецелесообразно из-за малого периода его полураспада, равного всего 24,6 суткам. Кроме того, известный сцинтиллятор не обеспечивает регистрации быстрых нейтронов.

Известен однокристалльный сцинтиллятор (Пат. 4482808 США) для регистрации нейтронов и гамма-лучей. Однако этот известный сцинтиллятор пригоден для регистрации только быстрых нейтронов и непригоден для регистрации тепловых нейтронов.

Известны сцинтилляторы на основе $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ изготавливаемые, как правило, в виде монокристаллов (Ставиский Ю. Я., Шопарь А. В. // ПТЭ. 1962. № 5. С. 177–178.; Шульгин Б. В. [и др.] // Атомная энергия. 1993. Т. 75, вып. 1. С. 28–32.; Рогожин А. А. [и др.] // Закономерности распределения примесных центров в ионных кристаллах: сб. науч. тр. ВИМС. М.: ВИМС, 1977. С. 40 – 49.; Неорганические сцинтилляционные мате-

риалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029.; Scintillation Detector. HarShaw, Catalogue. 1982. 112 p). Согласно выше-приведенным источникам кристаллы $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ (плотность $3,19 \text{ г/см}^3$; температура плавления 1407°C ; коэффициент преломления света 1,44; твердость по Моосу 4; $Z_{\text{эф}} = 16,5$) относятся к классу перспективных сцинтилляционных материалов для регистрации, дозиметрии и спектрометрии рентгеновского и бета-излучения. Они обладают достаточно высоким абсолютным энергетическим выходом сцинтилляций 8,4 % или $29 \cdot 10^3$ фотон/МэВ (что составляет ~ 50 % эффективности относительно NaI(Tl)), обладают длиной волны радиoluminesценции 435 нм, длительностью бета-сцинтилляций 800 нс и энергетическим разрешением 9–10,5 % (по линии ^{137}Cs) и 26–30 % (по линии ^{241}Am). Оптимальная концентрация примесей в кристаллах $\text{CaF}_2:\text{Eu}$, обеспечивающая наибольший абсолютный выход сцинтилляций, равна 0,5–0,7 мас. % (Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029). Для известных кристаллов $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ световых выход сцинтилляций практически стабилен в диапазоне температур от -60°C до $+20^\circ\text{C}$; температурный коэффициент спада световых выход сцинтилляций при $T > 20^\circ\text{C}$ равен 0,4–0,5 %/ $^\circ\text{C}$; послесвечение, измеренное с задержкой 1 мс, составляет 6 %, через 30 мс его величина становится меньше, чем 10^{-9} %; эффективный коэффициент поглощения на длине волны излучения (435 нм) составляет $0,3 \pm 0,05 \text{ см}^{-1}$. Однако кристалл-сцинтиллятор $\text{CaF}_2:\text{Eu}$, обладающий весьма высокими показателями по световых выходу сцинтилляций, был разработан и применялся лишь для регистрации бета-излучения и гамма-излучения. Применение кристаллов $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ в качестве сцинтиллятора для регистрации тепловых или быстрых нейтронов в выше приведенных источниках не описано.

Известны детекторы быстрых нейтронов с введенным в решетку материала детектора водородом (Шавер И. Х. Люминесцентные приемники и преобразователи ионизирующего излучения / И. Х. Шавер, В. Г. Кронгауз. Новосибирск: Наука, 1985. С. 61–72). Внедрение водорода в люминофор может осуществляться несколькими путями: выращиванием кристаллов, например LiF с контролируемой примесью OH^- или контролируемой диффузией водорода в решетку кристалла. В частности, известен детектор быстрых нейтронов на основе CaF_2 с внедренным в решетку водородом (Morato S. P. Development of hydrogen doped TL phosphors for neutron dosimetry / S. P. Morato, K. S. Nambi. Proceedings of the 5-Th Int. Conf. on Luminescence Dosimetry. Sanpaulo, 1977. P. 288–297). Однако известный детектор $\text{CaF}_2:\text{H}$ известен только как термoluminesцентный детектор, работающий в режиме запоминания дозиметрической информации, а не в режиме реального времени. Сведения об использовании кристаллов $\text{CaF}_2:\text{H}$ в качестве сцинтиллятора в работе S. P. Morato и K. S. Nambi отсутствуют.

Из всех известных сцинтилляторов наиболее близким к заявляемому является сцинтиллятор для регистрации тепловых нейтронов (Заявка 2003119786/28 РФ) на основе фторида кальция (99,25 – 99,59 ат. %), содержащего в своем составе фторид европия (0,4–0,7 ат. %) и изотоп гелия ^3He (0,01 – 0,05 ат. %). Известный сцинтиллятор имеет повышенный световых выход сцинтилляций со спектром свечения в синей области с максимумом при 450 нм, он имеет повышенную чувствительность к тепловым нейтронам, благодаря наличию в нем изотопа ^3He с сечением захвата тепловых нейтронов 4000 барн. Однако известный сцинтиллятор $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, ^3\text{He})$ обладает низкой эффективностью регистрации быстрых нейтронов, не выше 0,01 – 0,015 из-за низкого сечения взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами ^3He .

Сущность изобретения заключается в том, что предлагаемый сцинтиллятор на основе $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, ^3\text{He})$ включает в свой состав дополнительно водород, что делает сцинтиллятор чувствительным одновременно как к тепловым, так и быстрым нейтронам. Состав предлагаемого сцинтиллятора, ат. %: CaF_2 99,25 – 99,59; EuF_3 0,39–0,66; ^3He 0,01 – 0,05; H 0,01 – 0,04.

Регистрация быстрых нейтронов происходит в результате их рассеяния на ядрах водорода и образования протонов отдачи, а регистрация тепловых нейтронов происходит благодаря реакции (n, α) на ядрах Eu и реакции (n, p) на ядрах ${}^3\text{He}$. Продукты этих реакций (протон отдачи, α -частица (n, α) и протон (n, p)) вызывают в кристалле-матрице $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He}, \text{H})$ генерацию и миграцию электронных возбуждений по кристаллу с последующим возбуждением центров свечения, которыми являются ионы Eu^{2+} . По этой причине сцинтилляции, являющиеся следствием различных ядерных реакций, имеют одинаковый спектр свечения с максимумом при 435 нм ($4f^65d \rightarrow 4f^7({}^8S_{7/2})$ переход в ионе Eu^{2+}) и примерно одинаковую длительность сцинтилляций 700 – 800 нс.

Уменьшение содержания активатора европия до уровня ниже 0,39 ат. % или его увеличение сверх 0,66 ат. % ведет к уменьшению световыхода сцинтилляций кристаллов $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He}, \text{H})$. Уменьшение содержания изотопа ${}^3\text{He}$ ниже 0,01 ат. % (10^{19} ат/см²) ведет к снижению общей эффективности регистрации тепловых нейтронов ядрами гелия из-за уменьшения их количества. Увеличение содержания изотопа ${}^3\text{He}$ в кристаллах $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He})$ выше 0,05 ат. %, проводимые методом термодиффузии в принципе возможно, но требует большого времени и технически трудно достижимо. В целом эффективность регистрации тепловых нейтронов предлагаемым сцинтиллятором остается на уровне эффективности регистрации, которым обладает прототип. Однако предлагаемый сцинтиллятор с дополнительно введенным в решетку кристаллов CaF_2 водородом (состав $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He}, \text{H})$), в отличие от известного $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He})$ становится порядком более чувствительным к быстрым нейтронам. Эффективность регистрации быстрых нейтронов предлагаемым сцинтиллятором достигает уровня 0,2–0,25.

Пример 1. Сцинтиллятор состава $\text{CaF}_2 - 99,25$ ат. %, $\text{EuF}_3 - 0,66$ ат. %, ${}^3\text{He} - 0,05$ ат. %, $\text{H} - 0,04$ ат. % получают в две стадии. На первой стадии выращивают кристаллы $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ в виде були диаметром до 45 мм и длиной 80 мм в графитовых тиглях методом Стокбаргера в вакууме. Для удаления следов кислорода в шихту добавляют фторид свинца в количестве 1 мас. %. Из центральных частей выращенной були вырезают кристалл диаметром 40 мм и высотой 6 мм. На второй стадии подготовленный кристалл ($\varnothing = 40$ мм, $h = 6$ мм) помещают в специальную барокамеру, в которой в него вначале вводят изотоп ${}^3\text{He}$ с помощью термодиффузии по методу А. Я. Купряжкина (Купряжкин А. Я., Куркин А. Д. // ФТТ. 1990. Т. 32, № 8. С. 2349–2354), а затем вводят водород методом контролируемой диффузии по методу (Morato S. P. Development of hydrogenated TL phosphors for neutron dosimetry / S. P. Morato, K. S. Nambi. Proceedings of the 5-Th Int. Conf. on Luminescence Dosimetry. Sanpaulo, 1977. P. 288–297). В кристаллах фторида кальция реализуются междоузельные и вакансионные механизмы диффузии гелия с достаточно низкими энергиями активации – 1,16 эВ по примесным и 2,24 эВ по собственным вакансиям – и с еще более низкими энергиями растворения – 0,5 и 0,81 эВ соответственно. Выбор режимов термодиффузии сделан по известной температурной зависимости растворимости гелия и водорода по известным зависимостям растворимости гелия и водорода в кристаллах CaF_2 от давления насыщения (Купряжкин А. Я., Куркин А. Д. // ФТТ. 1990. Т. 32, № 8. С. 2349–2354). Режим термодиффузии был выбран таким, чтобы содержание гелия ${}^3\text{He}$ в кристалле $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ было доведено до 0,05 ат. %, а водорода до 0,04 ат. %. Полученные кристаллы $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He}, \text{H})$ обладали следующими свойствами: эффективность регистрации тепловых нейтронов – 95 %, а быстрых нейтронов – 25 %; эффективный атомный номер – $Z_{\text{эф}} = 16,5$; относительная сцинтилляционная эффективность в сравнении с NaI:Tl (по гамма-линии 662 кэВ изотопа ${}^{137}\text{Cs}$) – 52 %; спектр свечения имеет максимум при 425 нм, длительность сцинтилляций – 780 нс, причем форма кривой затухания сцинтилляций, описывается одной экспонентой; энергетическое разрешение по линии ${}^{137}\text{Cs}$ – 12 %. Влияние температуры на спектр свечения монокристаллов $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, {}^3\text{He}, \text{H})$ незначительно: в диапазоне от -50 до $+50^\circ\text{C}$

положение максимума полосы излучения сдвигается не более, чем на 5 нм, полуширина увеличивается с ростом температуры от 25 до 30 нм соответственно, длительность нейтронных сцинтилляций (в качестве нейтронного источника использовали ^{252}Cf с замедлителем), также как и α -сцинтилляций, составляла 780 нс. Срок службы $T_{\text{службы}}$ сцинтилляционных кристаллов $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, ^3\text{He}, \text{H})$ определяется временем релаксации $T_{\text{рел}}$, в течение которого содержание гелия в кристаллах убывает в e (экспонента) раз за счет процессов диффузии. Для кристаллов $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, ^3\text{He}, \text{H})$ при 300 К коэффициент междоузельной диффузии гелия 10^{-8} – 10^{-9} см²/с. Время релаксации оценивалось по формуле:

$$t_{\text{рел}} = \frac{\pi^2}{D},$$

где r – радиус сцинтилляционного кристалла. Для $r = 2$ см получаем, что $T_{\text{службы}} = T_{\text{рел}} \cong 1,3 \cdot 10^9$ – $1,3 \cdot 10^{10}$ с, т. е. от 40 до 400 лет. Таким образом, оценка даже по нижнему пределу дает срок службы сцинтилляционных кристаллов ~ 40 лет, а средний срок службы не менее 60 лет с учетом времени релаксации (убывания содержания) водорода.

Пример 2. Сцинтиллятор состава $\text{CaF}_2 - 99,59$ ат. %, $\text{EuF}_3 - 0,39$ ат. % и $^3\text{He} - 0,01$ ат. %, $\text{H} - 0,01$ ат. %. Выращивание монокристаллов $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ с последующим введением в них изотопа ^3He и водорода методом термодиффузии проведено в тех же режимах, что были описаны в примере 1. Размеры кристалла: $\varnothing = 40$ мм, $h = 6$ мм. Сцинтиллятор обладает следующими свойствами: эффективность регистрации тепловых нейтронов ~ 90 %; а быстрых нейтронов ~ 20 %; эффективный атомный номер – $Z_{\text{эф}} = 16,5$; относительная сцинтилляционная эффективность в сравнении с NaI:Tl (по гамма-линии 662 кэВ изотопа ^{137}Cs) ~ 45 %; максимум спектра свечения – 425 нм; длительность сцинтилляций – 800 нс; энергетическое разрешение по линии 662 кэВ изотопа $^{137}\text{Cs} - 11$ %. Рабочий диапазон температур от -50 до $+50^\circ\text{C}$.

Пример 3. Сцинтиллятор состава $\text{CaF}_2 - 99,4$ ат. %, $\text{EuF}_3 - 0,56$ ат. %, $^3\text{He} - 0,02$ ат. %, $\text{H} - 0,02$ ат. % получают также в две стадии: выращивание монокристаллов $\text{CaF}_2:\text{Eu}$, введение в $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ изотопа ^3He и водорода методом термодиффузии. Размеры кристалла: $\varnothing = 40$ мм, $h = 8$ мм. Условия получения такие же, как и в примере 1. Сцинтиллятор обладает следующими свойствами: эффективность регистрации тепловых нейтронов – 92 %, а быстрых нейтронов ~ 22; световых сцинтилляций относительно $\text{NaI:Tl} - 0,5$; эффективный атомный номер – $Z_{\text{эф}} = 16,5$; максимум спектра свечения – 433 нм; длительность сцинтилляций – 800 нс; энергетическое разрешение по линии 662 кэВ изотопа $^{137}\text{Cs} - 12$ %.

Дополнительным преимуществом предлагаемых сцинтилляторов, описанных в примерах 1 – 3, является:

- высокая эффективность регистрации бета-излучения из-за несущественных потерь на обратное рассеяние, обусловленное низким эффективным атомным номером $Z_{\text{эф}} = 16,5$;
- способность селективно регистрировать нейтроны на гамма-фоне (вероятность регистрации гамма-излучения при малых толщинах кристалла $\text{CaF}_2:(\text{Eu}, ^3\text{He}, \text{H})$ невелика вследствие низкого $Z_{\text{эф}} = 16,5$).

Формула изобретения

Сцинтиллятор для регистрации нейтронов, включающий фторид кальция, активированный европием, изотоп гелия ^3He , отличающийся тем, что он дополнительно содержит водород при следующем соотношении ингредиентов, ат. %: фторид кальция 99,25 – 99,59; фторид европия 0,39–0,66; изотоп гелия ^3He 0,01 – 0,05; водород H 0,01 – 0,04.

Патент № 2277234 РФ. Радиолюминесцентный излучатель ВУФ-диапазона / К. В. Ивановских, Б. В. Шульгин, В. А. Пустоваров, В. Л. Петров, А. Н. Черепанов, П. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 21.03.2005; опубл. 27.05.2006. Бюл. № 15.

Реферат

Предложен радиолюминесцентный излучатель ВУФ-диапазона, относящийся к излучателям многолетнего срока действия, пригодный для использования при калибровке общей и спектральной чувствительности фотодетекторов, определении их временной стабильности и зависимости от изменившихся климатических условий, а также для использования в качестве эталонов при абсолютизации потоков оптических излучений по мощности и удельному количеству квантов при калибровке фотодетекторов, особо в космических аппаратах и спутниках Земли для фотометрии в области ВУФ-диапазона.

Суть изобретения заключается в том, что радиолюминесцентный излучатель ВУФ-диапазона, включающий в себя размещенные в едином корпусе выходное окно в виде полированного диска, кристаллофосфор и возбуждающее радиолюминесценцию бета-радиоактивное вещество, содержит в качестве кристаллофосфора и выходного окна кристалл на основе $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$, имеющий состав (мас. %): SrF_2 99,01–99,9, ErF_3 0,1 – 0,99.

Описание изобретения

Изобретение относится к области источников света, а именно к области радиолюминесцентных излучателей (РЛИ) света многолетнего срока действия, особо к РЛИ вакуумного ультрафиолетового диапазона (РЛИ ВУФ-диапазона) и может быть использовано в качестве средств контроля и калибровки общей и спектральной чувствительности фотодетекторов, определения их временной стабильности и зависимости от изменившихся климатических условий, а также использовано в качестве эталонов при абсолютизации потоков оптических излучений по мощности и удельному количеству квантов при калибровке фотодетекторов, особо в космических аппаратах и спутниках Земли для фотометрии в области ВУФ-диапазона.

Известные радиолюминесцентные излучатели состоят из кристаллофосфора (люминофора), радиоактивного вещества и корпуса с выходным для света окном. В зависимости от требований практики они обладают разнообразными параметрами: определенным уровнем мощности и видом спектрального распределения (требуемая область спектра радиолюминесценции (от 130 до 1100 нм и более)), допустимой нестабильностью, определенной (низкой) степенью их биологической опасности.

Радиоактивное вещество (РВ) используют для возбуждения радиолюминесценции кристаллофосфора. В качестве радиоактивных веществ используются различные изотопы, например тритий ^3H , стронций ^{90}Sr , углерод ^{14}C , сера ^{35}S , кобальт ^{60}Co , прометий ^{147}Pm , таллий ^{204}Tl , радиоактивный газ криптон ^{85}Kr или ^{226}Ra . Предпочтение отдают бета-излучающему РВ с возможно малой энергией частиц (т. е. изотопам ^3H , ^{14}C , ^{35}S), а среди кристаллофосфоров предпочтение отдают таким, эффективный номер которых $Z_{\text{эф}}$ невелик, что необходимо для снижения альбеда бета-частиц и усиления эффекта возбуждения радиолюминесценции (Михальченко Г. А. Радиолюминесцентные излучатели / Г. А. Михальченко. М.: Энергоатомиздат, 1988. 152 с).

Известны радиолюминесцентные излучатели, включающие радиоизотопы ^3H или ^{14}C с кристаллофосфорами CaWO_4 и/или ZnS (Hanle W., Kügler J. // Optica acta. 1956. № 3. Р. 131–138.; Пат. 2749241 США). Однако известные РЛИ с кристаллофосфорами CaWO_4 или ZnS являются радиолюминесцентными источниками света только видимого диапазона. Они непригодны для использования в качестве РЛИ вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) диапазона спектра.

Известны радиолюминесцентные излучатели света, использующие в качестве РВ альфа- или бета-частицы, а в качестве кристаллофосфора силикаты цинка (Broser J., Kallman H. // *Z. Naturforsch. (a)*. 1950. Bd. 5, № 7. S. 381 – 384). Однако известные РЛИ с кристаллофосфором на основе силикатов цинка являются радиолюминесцентными излучателями света только видимого диапазона спектра. Они не пригодны для использования в качестве РЛИ ВУФ-диапазона спектра.

Известны РЛИ в виде комбинации газообразного РВ (молекулярного трития) и порошкового кристаллофосфора на основе сульфида цинка или сульфида кадмия или вольфрамата кальция (Пат. 646414 Великобритания; Белов К. // *Атомная техника за рубежом*. 1959. № 12. С. 32.; Jenkins H. G. // *Light and lighting*. 1958. Vol. 51, № 12. P. 391–402.; Wilson E. J., Hughes J. D. H. // *Engineering*. 1959. Vol. 17. P. 89). Однако известные РЛИ, в которых возбуждение кристаллофосфоров осуществляют с помощью газообразного молекулярного трития и в которых в качестве кристаллофосфоров применяют порошкообразные ZnS , CdS , или CaWO_4 , являются радиолюминесцентными источниками света видимого диапазона. Они не пригодны для использования в качестве РЛИ ВУФ-диапазона спектра.

Известен способ нанесения люминофорного покрытия на внутренние поверхности тритиевого радиолюминесцентного источника света (Пат. 2030012 РФ). Однако тип люминофора, его состав и спектр излучения в известном патенте не оговорены. Сведения об РЛИ ВУФ-диапазона спектра в известном пат. 2030012 РФ отсутствуют.

Известен газоструйный источник вакуумного ультрафиолетового излучения (А. с. 433450 СССР). В качестве рабочего тела в этом устройстве используется смесь газов с неконденсированными добавками. Недостатками этого источника света ВУФ-диапазона является сложность и громоздкость конструкции, и безвозвратные потери рабочего тела в процессе работы.

Известен состав $\text{SrF}_2:1\% \text{Er}^{3+}$ (Ивановских К. В. / *Время-разрешенная ВУФ-спектроскопия чистых и активированных редкоземельными элементами кристаллов фторида стронция* / К. В. Ивановских, В. А. Пустоваров // *Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр.* Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2004. Вып. 16. С. 150 – 179.; *Low-Temperature Time-resolved VUV-Spectroscopy of Er^{3+} In SrF_2 single crystals* / K. V. Ivanovskikh [et al.] // *HASYLAB Annual Report, Germany, Hamburg*, 2004. P. 507–508). Известный состав $\text{SrF}_2:1\% \text{Er}^{3+}$ обладает ВУФ-люминесценцией с полосами 164,5 и 146,5 нм с длительностью микросекундного и субнаносекундного диапазона соответственно. Полоса люминесценции 164,5 нм $\text{SrF}_2:1\% \text{Er}^{3+}$ известна как лазерная полоса (Makhov V. N. [et al.] // *Surface Review and Letters*. 2002. Vol. 9, № 1. P. 621–626). Однако применение соединения $\text{SrF}_2:1\% \text{Er}^{3+}$ в составе радиолюминесцентных излучателей неизвестно. Известны также составы на основе ErF_3 и $\text{BaYF}_8:\text{Er}^{3+}$, $\text{LiYF}_4:\text{Er}^{3+}$, TmF_3 , $\text{BaYF}_8:\text{Tm}^{3+}$, $\text{LiYF}_4:\text{Tm}^{3+}$, $\text{YPO}_4:\text{Nd}^{3+}$ и др. с максимумами полос люминесценции (157–185 нм) в ВУФ-диапазоне спектра и пригодные для применения в качестве активных сред для твердотельных лазеров. Однако, их применение в качестве РЛИ неизвестно.

Наиболее близким к заявляемому является РЛИ – радиолюминесцентный излучатель света ВУФ-диапазона на основе фторида иттрия, активированного редкоземельными элементами $\text{TR}^{3+} = \text{Nd}^{3+}$, Tm^{3+} , Er^{3+} (Михальченко Г. А. Радиолюминесцентные излучатели / Г. А. Михальченко. М.: Энергоатомиздат, 1988. 152 с). Так, известный РЛИ с кристаллофосфором состава $\text{YF}_3:1\% \text{Nd}^{3+}$ является источником света в РЛИ ВУФ-диапазона 170 – 185 нм (наиболее интенсивная полоса в спектре свечения такого РЛИ имеет длину волны 176,5 нм). Для него абсолютный энергетический выход радиолюминесценции при альфа- и бета-возбуждении равен $4 \pm 1\%$. Известный РЛИ с кристаллофосфором состава $\text{YF}_3:\text{Tm}^{3+}$ является ВУФ-излучателем с длиной волны около 170 нм и с абсолютным энергетическим выходом радиолюминесценции равным $1,3 \pm 0,3\%$. РЛИ

с кристаллофосфором состава $\text{YF}_3:\text{Er}^{3+}$ является ВУФ-излучателем с длиной волны ~ 167 нм и световыходом $\sim 0,5$ %. Однако известные РЛИ на основе $\text{YF}_3:\text{TR}^{3+}$ имеют достаточно большую длину волны ВУФ-люминесценции 167–185 нм. На основе кристаллофосфоров $\text{YF}_3:\text{TR}^{3+}$ ($\text{TR}^{3+} = \text{Nd}^{3+}, \text{Tm}^{3+}, \text{Er}^{3+}$) не известны РЛИ ВУФ-диапазона с длиной волны меньше 160 нм. Кроме того, известный РЛИ на основе $\text{YF}_3:\text{TR}^{3+}$ имеет выходное окно в виде диска полированного стекла УТ-49 (Михальченко Г. А. Радиолуминесцентные излучатели / Г. А. Михальченко. М.: Энергоатомиздат, 1988. 152 с), которое вызывает значительное поглощение ВУФ-излучения в диапазоне 150 – 180 нм (до 40 – 60 %). Это снижает указанный выше световыход РЛИ в полтора–два раза.

Предлагаемый радиолуминесцентный излучатель ВУФ-диапазона имеет длину волны люминесценции короче 150 нм. Это достигается применением в РЛИ кристаллофосфора на основе $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$, с содержанием компонентов Er^{3+} : от 0,1 до 0,99 мас. %. Радиолуминесцентный излучатель света, использующий в качестве рабочего вещества кристаллофосфор $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$, имеет невысокий эффективный атомный номер ($Z_{\text{эф}} = 33,5$) и, соответственно, невысокое альbedo, поэтому эффективно возбуждается бета-частицами, а также фотонным излучением мягкого рентгеновского диапазона. Длина волны излучения предлагаемого радиолуминесцентного излучателя равна 146,5 нм, она короче, чем длина волны излучения у всех известных РЛИ с твердотельными рабочими веществами, в качестве которых используют кристаллофосфоры или люминофоры. Абсолютный энергетический выход радиолуминесценции предлагаемого РЛИ с кристаллофосфором $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$ невысок, он составляет 0,05–0,1 %, однако чувствительности современных детекторов вполне достаточно, чтобы зарегистрировать ВУФ-излучение с таким световыходом.

Основное преимущество предлагаемого РЛИ заключается в супер короткой длине волны излучения (146,5 нм). Других РЛИ с длиной волны ВУФ-излучения короче 150 нм пока никем не предложено.

Конструкция предлагаемого РЛИ ВУФ диапазона приведена на фиг. 1, она включает в себя кристаллофосфор $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$ и слой радиоактивного вещества, помещенных в единый корпус в виде чашки. Традиционное выходное окно из кварцевого стекла или другого материала, прозрачного в ВУФ области излучения РЛИ в предлагаемом РЛИ отсутствует. Это упрощает и удешевляет конструкцию РЛИ. Роль выходного окна играет сам кристалл (кристаллофосфор) $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$. Его используют в виде полированного диска, герметично впаянного в корпус РЛИ для обеспечения требований радиационной безопасности. Отсутствие традиционного выходного дополнительного окна в предлагаемом РЛИ значительно снижает вес РЛИ, что весьма важно при использовании излучателя в космической технике.

Пример 1. Радиолуминесцентный излучатель ВУФ-диапазона содержит кристаллофосфор и радиоактивное вещество (^{14}C или ^{35}S) имеет состав (мас. %): SrF_2 99,01; ErF_3 0,99. Кристаллофосфор $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$ используют в виде полированного кристалла, который одновременно играет роль и излучателя и выходного окна РЛИ. Длина волны излучения РЛИ составляет 146,5 нм, что существенно меньше, чем у известных РЛИ с кристаллофосфорами $\text{YF}_3:\text{TR}^{3+}$. Световыход РЛИ не ниже 0,05–0,1 %. Дополнительным преимуществом предлагаемого РЛИ является то, что традиционное выходное окно из кварцевого стекла отсутствует, что упрощает конструкцию, снижает вес и снижает в полтора–два раза потери ВУФ-излучения на выходе из РЛИ.

Пример 2. Радиолуминесцентный излучатель ВУФ диапазона содержит кристаллофосфор и радиоактивное вещество (^{14}C или ^{35}S) имеет состав (мас. %): SrF_2 99,9 %; ErF_3 0,1. Кристаллофосфор $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$ используют в виде полированного кристалла, который одновременно играет роль и излучателя и выходного окна РЛИ. Длина волны излучения РЛИ составляет 146,5 нм, что существенно меньше, чем у известных РЛИ с кри-

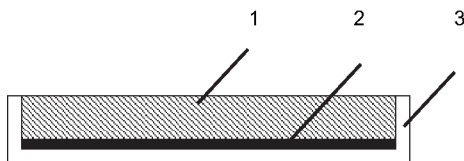
сталлофосфорами $\text{YF}_3:\text{TR}^{3+}$. Световыход РЛИ не ниже 0,05 %. Дополнительным преимуществом предлагаемого РЛИ является то, что традиционное выходное окно из кварцевого стекла отсутствует, что упрощает конструкцию, снижает вес и снижает в полтора–два раза потери ВУФ-излучения на выходе из РЛИ.

Пример 3. Радиолуминесцентный излучатель ВУФ диапазона содержит кристаллофосфор и радиоактивное вещество (^{14}C или ^{35}S) имеет состав (мас. %): SrF_2 99,15; ErF_3 0,85 %. Кристаллофосфор $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$ используют в виде полированного кристалла, который одновременно играет роль и излучателя и выходного окна РЛИ. Длина волны излучения РЛИ составляет 146,5 нм, что существенно меньше, чем у известных РЛИ с кристаллофосфорами $\text{YF}_3:\text{TR}^{3+}$. Световыход РЛИ не ниже 0,03–0,05 %. Дополнительным преимуществом предлагаемого РЛИ является то, что традиционное выходное окно из кварцевого стекла отсутствует, что упрощает конструкцию, снижает вес и снижает в полтора–два раза потери ВУФ-излучения на выходе из РЛИ.

При содержании ErF_3 в кристаллофосфоре РЛИ < 0,01 мас. % световыход уменьшается в 1,5 и более раз и РЛИ становится неэффективным. Введение в РЛИ ErF_3 в количестве превышающем 0,99 мас. % не вызывает существенного увеличения световыхода, однако ведет к удорожанию радиолуминесцентного излучателя.

Формула изобретения

Радиолуминесцентный излучатель ВУФ-диапазона, включающий в себя размещенные в едином корпусе выходное окно в виде полированного диска, кристаллофосфор и возбуждающее радиолуминесценцию бета-радиоактивное вещество, отличающийся тем, что в качестве кристаллофосфора и выходного окна в нем используют кристалл на основе $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$, имеющий состав, мас. %: SrF_2 99,01–99,9, ErF_3 0,1–0,99.



Фиг. 1

Патент № 2282212 РФ. Рабочее вещество для термоэктоэлектронной дозиметрии гамма- и электронного излучения / А. И. Слесарев, Б. В. Шульгин, Ю. Д. Афонин, А. В. Сергеев, А. В. Анипко, Д. А. Бекетов, А. Н. Черепанов. Заявл. 04.05.2005; опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.

Реферат

Изобретение относится к области дозиметрии гамма- и электронного излучения и может быть пригодно для систем радиационного контроля биологической защиты ядерно-энергетических установок, для мониторинга радиационной обстановки в зоне захоронения радиоактивных отходов, для оценки и прогнозирования радиационной обстановки в помещениях. Сущность: предложенное рабочее вещество для термоэктоэлектронной дозиметрии включает в себя соединение алюминия в виде нитрида алюминия с добавкой оксида, в качестве которого используют оксид иттрия, при определенном соотношении компонентов. Технический результат изобретения заключается в том, что предложенное рабочее вещество для термоэктоэлектронной дозиметрии имеет эффективный атомный номер $Z_{эф} = 11,57$, близкий к $Z_{эф}$ костной ткани (10,5), отличается повышенной термической и химической стойкостью и высокой твердостью.

Описание изобретения

Изобретение относится к области дозиметрии гамма- и электронного излучения и может быть пригодно для систем радиационного контроля биологической защиты ядерно-энергетических установок, для мониторинга радиационной обстановки в зоне захоронения радиоактивных отходов, для оценки и прогнозирования радиационной обстановки в помещениях торговых центров и спортивных комплексов, в больницах и медицинских центрах, в церковных храмах, банках, а также для контроля радиационной обстановки в местах базирования электронно-лучевой техники.

Известно рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии рентгеновского излучения (А. с. 723470 СССР) на основе ванадата кальция $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2$. Это рабочее вещество имеет пики ТЭЭ при 497–507°C (770 – 780 К). Оно обеспечивает измерение доз рентгеновского излучения до 10^5 Гр (10^7 рад). Однако недостатком известного рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии ванадата кальция является его повышенный $Z_{эф} = 18,48$, превышающий $Z_{эф}$ (биологической и костной ткани) в несколько раз, что с метрологической точки зрения делает его непригодным для использования в дозиметрии. Кроме того, применение $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2$ в качестве рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии электронного излучения неизвестно.

Известно рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии (Phys. stat. Sol(a) 1973. Vol. 19. P. 243) на основе MgO. Оно имеет пики ТЭЭ в области 150 – 300°C. Известное рабочее вещество на основе MgO имеет эффективный атомный номер $Z_{эф} = 10,75$, близкий к $Z_{эф}$ биологической ткани. Однако известное рабочее вещество на основе MgO обладает низкой химической стойкостью по отношению к плавиковой кислоте, под действием которой MgO переходит во фторид магния и теряет свои свойства как рабочего вещества для ТЭЭ.

Известно рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии (Kramer J., Angew. J. // Phys. 1966. Bd. 20. № 5. P. 411.; Слесарев А. И. [и др.] // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26, вып. 9. С. 60 – 64) на основе LiF. Оно имеет пик ТЭЭ при 210°C (по Крамеру), при 90, 126, 148, 270, 337 и 464°C (по Слесареву) и пригодно для индивидуальной дозиметрии, поскольку его $Z_{эф}$ близок к $Z_{эф}$ биологической ткани. Однако известное рабочее вещество на основе LiF имеет низкую предельную температуру хранения, не превышающую 846°C. При более высокой температуре оно плавится и теряет свою форму.

Известен термолуминофор на основе керамики нитрида алюминия $\text{AlN:Y}_2\text{O}_3$, получаемый при 1785°C из порошков AlN и Y_2O_3 методом плазменного синтеза. Содержа-

ние кислородного компонента в нитриде алюминия, допированного крупинками Y_2O_3 , составляло от 0,15 до 0,7 мол. % (Schweitzer S. [et al.] // Proceedings of Fifth Int. Conf. On Inorganic Scintillators and Their Applications. M.: Moscow state University, 2000. P. 715 – 719.; Trinkler L. [et al.] // Radiation Measurements. 1998. Vol. 29. P. 341.; Berzina B. [et al.] // Science Forum. 1996. Vol. 239–241. P. 145). Однако для известного состава $AlN:Y_2O_3$ (0,15–0,7 мол. %) известны только термолуминесцентные свойства. Возможность использования состава $AlN:Y_2O_3$ (0,15–0,7 мол. %) в качестве экзoeлектронного дозиметра в вышеперечисленных работах не оговаривалась. Такая возможность была неизвестна.

Из всех известных рабочих веществ для термoeкзоэмиссионной дозиметрии наиболее близким к заявляемому по составу является рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии на основе соединения алюминия $Al_2O_3:Cr^{3+}$ (Цинцадзе З. Г. [и др.] // Сообщения АН Грузинской ССР. 1976. Т. 84, № 2. С. 341). Пики ТЭЭ известного рабочего вещества на основе $Al_2O_3:Cr$ для ТЭЭ дозиметрии рентгеновского излучения находятся при 127 и 227°C. Эффективный атомный номер $Al_2O_3:Cr$, равный 11,59, близок к $Z_{эф}$ биологической ткани. Однако известное рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии неустойчиво при хранении в парах плавиковой кислоты HF , вещество разлагается и теряет свои свойства.

Предложенное рабочее вещество для термoeкзоэлектронной дозиметрии включает в себя соединение алюминия в виде нитрида алюминия с добавкой оксида, в качестве которого выступает оксид иттрия, при следующем соотношении компонентов, об. %: AlN 97–98; Y_2O_3 2 – 3. Предложенное рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет пики ТЭЭ при 78, 107,9, 151,4, 174,0, 282,0°C, фиг. 1 (облучение электронами). На фиг. 1 приведены кривые ТЭЭ с разложением общего спектра на составляющие. Разложение сложного спектра ТЭЭ на элементарные полосы проведено после его предварительного сглаживания в предположении кинетики первого порядка (по методу Мохарила: Moharil S. V. // J. Phys. D.: Appl. Phys. 1983. Vol. 16. P. 2017–2025). Основной рабочий пик ТЭЭ для $AlN:Y_2O_3$ расположен при температурах 70 – 110°C, что обеспечивает быстрый съем дозиметрической информации при термостимуляции. Диапазон измеряемых флюенсов электронов изменяется от 10^8 до 10^{12} см⁻².

Предложенное рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии на основе нитрида алюминия имеет $Z_{эф} = 11,57$, близкий к $Z_{эф}$ костной ткани (10,5), отличается повышенной термической и химической стойкостью и высокой твердостью: твердость по Моосу 9. Холодная плавиковая кислота на AlN не действует. На нитрид алюминия не действуют расплавленный алюминий (до 2000°C), галлий (до 1300°C), борный ангидрид (до 1400°C), он устойчив в контакте с вольфрамом и молибденом – до 1800°C (Long G., Foster L. M. // Journ. ElekTrochem. Soc. 1962. № 109. P. 1176).

Основные пики термостимулированной экзoeлектронной эмиссии рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии на основе нитрида алюминия (температура пиков ТЭЭ T_m , значения интенсивности экзoeмиссионного тока $I_{экз}$ и энергии активации E) приведены в табл. 6. Основной рабочий пик ТЭЭ находится при температуре 107,9°C, его интенсивность в 1,5 – 6 раз превышает интенсивность остальных пиков ТЭЭ.

Пример 1. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, об. %: AlN 98,0, Y_2O_3 2,0. Эффективный атомный номер $Z_{эф} \sim 11,57$. Плотность 3,12 кг/м³, структура типа вюрцита с параметрами $a = 3,104$, $c = 4,965$ Å. Измерения ТЭЭ выполнены на автоматизированном экзoeмиссионном спектрометре (АЭЭС) в вакууме $\sim 10^{-5}$ Па. Измерительный тракт экзoeмиссионного спектрометра включает в себя систему термостимуляции, обеспечивающую линейный нагрев образцов в диапазоне 300 – 800 К со скоростью 0,1–1,0 К/с и термостатирование. Спектрометр имеет систему возбуждения, состоящую из электронной пушки (энергия – 150 кэВ; плотность тока – 150 А/см²; длительность импульса 10 нс; флюенс электронов за один импульс – 10^{12} см⁻² при использовании диаграммы флюенс электронов составляет 10 см⁻²). С помощью применения специальных

диафрагм были проведены измерения экзоэмиссии образцов, облученных электронами с флюенсами от 10^8 см^{-2} до 10^{12} см^{-2} . Для рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии вышеуказанного состава термоэкзоэмиссионные характеристики приведены в табл. 6 для флюенса 10^{12} см^{-2} . В табл. 6 указаны позиции максимумов пиков ТЭЭ (T_m) и, соответствующие им интенсивности экзоэмиссионного тока $I_{\text{экз}}$, а также энергии активации (E) процессов экзоэмиссии. Основным достоинством предлагаемого рабочего вещества для ТЭЭ является его повышенная химическая и термическая стойкость и повышенная чувствительность к малым флюенсам электронного излучения на уровне 10^8 см^{-2} . Предлагаемое рабочее вещество чувствительно также к гамма- и рентгеновскому излучению.

Таблица 1

Характеристики рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии, имеющего состав, об. %: AlN – 98, Y_2O_3 – 2

$T_m, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{экз}}, \text{имп/сек}$	$E, \text{эВ}$
282	1070	1,725
174	500	1,724
151,4	1640	1,222
107,9	3100	1,124
78,5	1725	0,756

Пример 2. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, об. %: AlN 97,0, Y_2O_3 3,0. Основные физико-химические свойства рабочего вещества такие же, как и в примере 1. Измерения характеристик рабочего вещества данного состава проводились так же, как и в примере 1. Позиции пиков ТЭЭ расположены при температурах, близких к температурам рабочего вещества в примере 1, а именно при $\sim 78-80, 107-110, 151-152, 174-175, 280-285^\circ\text{C}$. Основным рабочим пиком остается пик при $107-110^\circ\text{C}$. Линейный диапазон измеряемых флюенсов электронов составляет $10^8-10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Пример 3. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, об. %: AlN 96,4, Y_2O_3 2,6. Измерения характеристик рабочего вещества данного состава проводились так же, как и в предыдущем примере. Позиции пиков ТЭЭ расположены при температурах, близких к температурам рабочего вещества, описанного в примере 1, а именно пики ТЭС расположены при $\sim 78-80, 107-110, 151-152, 174-175, 280-285^\circ\text{C}$. Основным рабочим пиком остается пик при $107-110^\circ\text{C}$. Линейный диапазон измеряемых флюенсов электронов составляет $10^8-10^{12} \text{ см}^{-2}$.

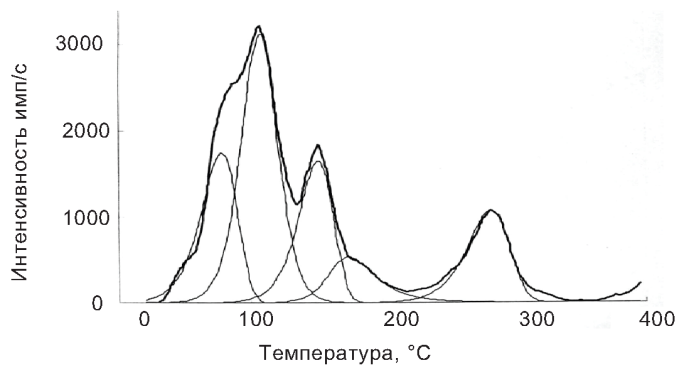
Пример 4. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, об. %: AlN 99,5, Y_2O_3 0,5. Измерения экзоэмиссионных характеристик рабочего вещества данного состава для ТЭЭ дозиметрии проводились так же, как в примере 1. Однако чувствительность данного рабочего вещества к флюенсу электронов оказалась на 30 – 40 % ниже, чем в примере 1.

Пример 5. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, об. %: AlN 96,0, Y_2O_3 4,0. Измерения характеристик рабочего вещества данного состава для ТЭЭ дозиметрии проводились так же, как в примере 1. Однако чувствительность данного рабочего вещества к флюенсу электронов оказалась на 35 – 42 % ниже, чем в примере 1. Синтез керамических образцов нитрида алюминия с добавкой оксида иттрия, используемых в примерах 1 – 5, проводили путем спекания исходной шихты в атмосфере азота при температуре 1800°C в течение часа в графитовом тигле с внутренним диаметром 15 мм. Шихта состояла из исходных порошков нитрида алюминия, полученного из Института макрокинетики (г. Черноголовка), и оксида иттрия. Оксид иттрия использовался как активатор спекания. Исходная крупность порошка нитрида алюминия составляла минус

5 мкм. После синтеза образцы извлекались из графитового тигля, разрезались на диски диаметром 10^{-5} мм, толщиной 2 мм.

Формула изобретения

Рабочее вещество для термоэкоэлектронной дозиметрии на основе соединений алюминия и оксида, отличающееся тем, что в качестве соединения алюминия используют нитрид алюминия, а в качестве оксида – оксид иттрия при следующем соотношении компонентов, об. %: AlN 97–98; Y_2O_3 2 – 3.



Фиг. 1

Патент № 2282214 РФ. Способ изготовления гетероструктур / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, В. Ю. Иванов, Ф. Г. Нешов, П. И. Буйлин, Е. Г. Голиков, Б. К. Джолдошов, С. Pedrini, K. Lebbou. Заявл. 04.05.2005; опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.

Реферат

Изобретение относится к области физической и интегральной оптики, связанной с разработкой гетероструктур, пригодных для создания оптоэлектронных блоков и систем многоцелевого назначения, в частности, таких как сцинтилляционные и термoluminesцентные детекторы ионизирующих излучений для индивидуальной и космической медицины, для систем радиационного мониторинга, систем неразрушающего контроля и томографических медицинских систем, совместимых с волоконными линиями связи и пригодных для использования в качестве терминальных датчиков для оптических волоконных линий связи.

Суть изобретения заключается в том, что для изготовления гетероструктур путем ионного облучения заготовки в качестве заготовки используют кристалловолокно фторида лития или натрия, предварительно выращенное методом микровытягивания или лазерного разогрева, придают кристалловолокну вращение вокруг своей оси скоростью 60 – 80 об/мин, и облучают его направленным перпендикулярно оси вращения кристалловолоконным пучком ионов гелия He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ и флюенсом в пределах от $2 \cdot 10^{15}$ до $2 \cdot 10^{16}$ ион/см² или ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ и флюенсом в пределах от $5 \cdot 10^{14}$ до $8 \cdot 10^{15}$ ион/см².

Описание изобретения

Изобретение относится к разделам физической и интегральной оптики, связанной с разработкой гетероструктур, пригодных для создания оптоэлектронных блоков и систем многоцелевого назначения, в частности, таких как сцинтилляционные и термoluminesцентные детекторы ионизирующих излучений для индивидуальной и космической медицины, для систем радиационного мониторинга, систем неразрушающего контроля и томографических медицинских систем, совместимых с волоконными линиями связи и пригодных для использования в качестве терминальных радиационно-чувствительных датчиков для оптических волоконных линий связи.

Известен способ изготовления планарных гетероструктур из заготовок на базе кристаллов LiF (Montealeali R. M. [et al.] // Opt. Comm. 1998. Vol. 153. P. 223.; Mussi V. [et al.] // Appl. Phys. Lett. 2003. Vol. 82. P. 3886). Гетероструктуры получают путем облучения заготовок электронами или путем имплантации (облучения) ионами He^+ . Однако известный способ, использующий неподвижные заготовки позволяет изготовить только планарные или канальные гетероструктуры на основе LiF, пригодные для использования в качестве волноводов. Получение гетероструктур в виде кристалловолокон, получение трубчатых кристалловолоконных гетероструктур в рамках известного способа невозможно.

Известен способ изготовления планарных гетероструктур из заготовок на основе кристаллов LiF (Kurobori T. [et al.] // J. Phys. Condens. Matter. 2003. Vol. 15. P. L399.; Kawamura K. [et al.] // Appl. Phys. 2000. Vol. B71. P. 119.; Kawamura K. [et al.] // Appl. Phys. Lett. 2004. Vol. 84. P. 311.; Kurobori T. [et al.] // Book of Abstracts of 15 Intern. Conf. on Defects In Insulating Materials, Riga. 2004. P. 36.). Гетероструктуры по известному способу получают в заготовках из объемных кристаллов LiF путем создания дефектов: агрегатных F_2^- и F_3^{+} -центров окраски в виде микрорешеток длиной ~ 10 мм на глубине ~ 100 мкм. Микрорешетки представляют собой трехразмерные активные канальные волноводы. Известный способ изготовления гетероструктур заключается в облучении заготовок двумя фемтосекундными интерферирующими лазерными импульсами, которые

точка за точкой производят канальные волноводы на небольшой глубине кристалла LiF. Последнее обеспечивает их нестираемость (несоскабливаемость). Однако известный способ применяется только для создания планарных гетероструктур на основе LiF. Гетероструктуры в виде кристалловолокон трубчатые кристалловолоконные гетероструктуры на основе LiF и тем более на основе NaF таким способом не изготавливались.

Известен способ получения планарных гетероструктур из заготовок на основе оксидов $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG), $LiNbO_3$ и фторидов LiF (Townsend P. D., Chandler P. J., Zhang L. // Optical effects of ion implantation. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.; Moretti P. [et al.] // Ferroelectric. 1992. Vol. 128. P. 13.; Zhang L. [et al.] // J. Appl. Phys. 1991. Vol. 69. P. 3440.; Mussi V. [et al.] // Appl. Phys. Lett. 2003. Vol. 82, № 22. P. 3886–3888). Гетероструктуры по известному способу получали путем имплантации ионов гелия He^+ или водорода H^+ в поверхностные слои неподвижных заготовок на базе кристаллов YAG или $LiNbO_3$ или LiF. Например, в работе (Somma F. [et al.] // Appl. Phys. Lett. 2003. Vol. 82, № 22. P. 3886–3888.) для получения гетероструктур использовались неподвижные заготовки в виде полированных кристаллов LiF размерами $5 \times 5 \times 1$ мм³, которые облучались при температуре 20°C ионами He^+ с энергией 1,5 или 2,0 МэВ и флюенсами от $6 \cdot 10^{13}$ до $2,5 \cdot 10^{16}$ ион/см². Облучение приводило к образованию дефектного слоя с измененным коэффициентом преломления, зависящим от доз облучения. Однако известный способ, использующий неподвижную облучаемую заготовку, непригоден для получения гетероструктур в виде кристалловолокон, непригоден для получения трубчатых кристалловолоконных гетероструктур.

Известен способ получения гетероструктур из заготовок на основе кристаллов LiF методом литографии с использованием электронных пучков (Montecchi M., Montereali R. M., Nichelatti E. // Opt. Mater. 2001. Vol. 17. P. 347). Такие гетероструктуры предназначены для обеспечения генерации, ограничения (ослабления) и усиления света в активных одномодовых канальных волноводах и необходимы для получения миниатюрных широкополосных оптических усилителей и лазеров, совместимых с интегральными оптическими элементами. Однако известный способ непригоден для получения гетероструктур в виде волокон, непригоден для получения трубчатых кристалловолоконных гетероструктур.

Известен способ приготовления гетероструктур в виде планарных сцинтилляционных экранов на основе заготовок из кристаллов LiF или NaF путем облучения этих кристаллов через металлическую сетку с размером ячеек 6–10 мкм пучком ионов He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ при флюенсе пучка 10^{18} – $2 \cdot 10^{19}$ м⁻² (Пат. 2243573 РФ). В результате облучения в приповерхностном слое незакрытых металлической сеткой от пучка ионов участках заготовки из кристаллов LiF или NaF создается повышенное содержание дефектов – агрегатных центров окраски, являющихся центрами свечения, играющих роль микросцинтилляционных ячеистых сенсоров, обеспечивающих визуализацию рентгеновского излучения с высоким пространственным разрешением в соответствии с шагом (от единиц до десятков микрон) металлической радиационно-стойкой сетки, через которую проводится облучение. Таким образом, известный способ пригоден только для изготовления планарных гетероструктур и непригоден для получения гетероструктур в виде волокон, непригоден для получения трубчатых кристалловолоконных гетероструктур.

Известен способ получения гетероструктур из заготовок на основе кристаллов LiF (Bonfigli F. [et al.] // Optical Materials. 2003. Vol. 24. P. 291–296). Способ изготовления гетероструктур связан с наведением в заготовках из кристаллов LiF агрегатных F_2^- и F_3^{+} -центров окраски (с поглощением в области 450 нм) при облучении неподвижных заготовок ионами He^+ с энергией 1,5 – 2,0 МэВ и флюенсом от $6 \cdot 10^{13}$ до $2,5 \cdot 10^{16}$ ион/см². Однако известный способ изготовления гетероструктур не пригоден для изготовления гетероструктур в виде волокон, непригоден для получения трубчатых кристалловоло-

конных гетероструктур поскольку он не обеспечивает облучения волокон по всей их цилиндрической поверхности.

Известны способы изготовления кристалловолокон фторида натрия методом микровытягивания (Micro Pulling Down) и методом лазерного разогрева (Laser Heated Pedestal Growth method) (Выращивание волоконных монокристаллов фторида натрия и их свойства. Часть I / К. Lebbou [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ. 2003. Вып. 15. С. 114–121). Однако известные методы позволяют изготавливать только однородные кристалловолоконна, которые не являются гетероструктурами.

Из всех известных способов изготовления гетероструктур наиболее близким к заявляемому является способ получения гетероструктур из заготовок в виде большеразмерных кристаллов на основе фторида натрия путем облучения последних пучками ионов He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ или ионами азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ и флюенсами в интервале $10^{13}–10^{16} \text{ см}^{-2}$ (Влияние ионных пучков на оптические свойства кристаллов $(\text{Li},\text{Na})\text{F}:\text{U},\text{Cu}$ / Б. В. Шульгин [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 1998. Вып. 1 С. 40–46.; Радиационно-стимулированная агрегация элементарных дефектов в кристаллах $\text{NaF}:\text{U},\text{Me}$, вызванная облучением ионами гелия и электронами / М. К. Сатыбалдиева [и др.] // Физика и химия обработки материалов. 2000. № 5. С. 5–8). Получаемые таким способом гетероструктуры с F_2^- и F_3^+ агрегатными центрами окраски оказываются стабильными при комнатной температуре, по крайней мере, в течение двух лет. Однако этим способом кристалловолоконные структуры получить невозможно.

В предлагаемом способе для изготовления гетероструктур в качестве заготовки, подвергаемой облучению пучками ионов, используют волоконный кристалл фторида лития или натрия, выращенный предварительно из расплава методом микровытягивания (Micro Pulling Down) либо методом лазерного разогрева (Laser Heated Pedestal Growth) (Fiber crystal growth from The melt / Editor T. Fukuda. Berlin: Springer Verlag. 2003.; Выращивание волоконных монокристаллов фторида натрия и их свойства. Часть I / К. Lebbou [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ. 2003. Вып. 15. С. 114–121). В результате выращивания кристалловолокон (волоконных кристаллов), как по методу микровытягивания, так и по методу лазерного разогрева, могут быть получены достаточно длинные (до метра) гибкие нитевидные волокна с правильным круглым поперечным сечением диаметром от 0,01–0,03 до 1,5 мм (и более), обладающие при этом структурой монокристалла практически по всему объему. Получить аналогичные заготовки классическими методами выращивания (Чохральский, Киропулос, Стогбаргер и др) не представляется возможным.

В предлагаемом способе изготовления гетероструктур выращенной кристалловолоконной заготовке из фторида лития или натрия придают вращение вокруг своей оси со скоростью 60–80 об/мин и помещают вращающуюся заготовку облучаться под пучок ионов, направленный перпендикулярно оси вращения. В качестве пучка ионов используют пучок ионов гелия He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ и флюенсом в пределах от $2 \cdot 10^{15}$ до $2 \cdot 10^{16}$ ион/см² или пучок ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ и флюенсом в пределах от $5 \cdot 10^{14}$ до $8 \cdot 10^{15}$ ион/см². Во время облучения заготовки при ее вращении вся ее боковая (цилиндрическая) поверхность подвергается воздействию ионного пучка (фиг. 1), который модифицирует последнюю: формирует в приповерхностном слое заготовки глубиной до нескольких микрон дефекты в виде агрегатных центров окраски F_2^- и F_3^+ -типа. Эти центры окраски изменяют коэффициент преломления приповерхностного слоя волокна. За счет того, что пучок ионов полностью поглощается в приповерхностном слое толщиной в несколько микрон, ионы не могут проникнуть во внутреннюю часть

волокна – она остается нетронутой и ее коэффициент преломления не меняется. Таким образом, формируется кристалловолоконная гетероструктура (слоистая структура).

Расчет распределения выделения энергии пучка ионов по глубине, проведенный на примере кристаллов фторида натрия, полученный с использованием метода Монте-Карло (Радиационно-стимулированная агрегация элементарных дефектов в кристаллах NaF:U,Me , вызванная облучением ионами гелия и электронами / М. К. Сатыбалдиева [и др.] // Физика и химия обработки материалов. 2000. № 5. С. 5 – 8], показывает, что при ионном облучении (в отличие, например, от электронного) основное энерговыделение и соответственно основной процесс дефектообразования (образование F_2^- и F_3^+ -центров окраски) происходит не непосредственно на поверхности, а на некоторой глубине. То есть облучение кристаллов NaF ионами позволяет создавать нужный сорт центров окраски на определенной глубине. Тем самым получаемая гетероструктура становится более устойчивой к соскабливанию, к истиранию. Приповерхностный модифицированный слой с образовавшимися F_2^- и F_3^+ -центрами окраски образует трубчатую поверхностную часть волоконной гетероструктуры, – своеобразный люминесцентный чехол с интенсивным ярко красным свечением. Изготовленная кристалловолоконная гетероструктура характеризуется высокой стабильностью наведенных центров окраски (вплоть до нескольких лет) и отличается повышенной сцинтилляционной активностью с длительностью сцинтилляций до 3–4 нс и длиной волны люминесценции 550 – 650 нм.

Пример 1. Для изготовления гетероструктуры вначале выращивают волоконный кристалл (кристалловолоконно) NaF методом микровытягивания (скорость вытягивания 0,7 мм/мин, температура расплава 1040°C). Выращенное волокно NaF имеет диаметр ~ 0,1 – 0,5 мм и длину 25 – 70 мм. Кристалловолоконно вставляют в цанговый держатель с приводом, обеспечивающим вращение волокна вокруг своей оси, и устанавливают в камере облучения циклотрона. Облучение ведут в вакууме при скорости вращения заготовки 60 об/мин слегка расфокусированным пучком ионов He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ до флюенса $2 \cdot 10^{16}$ ион/см². Ширина пучка выбирается соответствующей длине облучаемой части волокна: 15 – 50 мм. Изготовленная гетероструктура имеет вид волокна с активной частью, равной длине облученного участка. Спектр свечения волоконной гетероструктуры имеет максимум при 550 – 650 нм. Длительность сцинтилляций при возбуждении импульсными пучками электронов не превышает 4 нс. Сцинтилляции возникают в трубчатом цилиндрическом чехле, образованном дефектным приповерхностным слоем, имеющим толщину ~ 6 мкм. Такая гетероструктура имеет вид трубчатой кристалловолоконной гетероструктуры, она совместима с волоконными линиями оптической связи и может быть использована в качестве терминального радиационно-чувствительного сцинтилляционного датчика для регистрации электронного или гамма-излучения.

Пример 2. Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе NaF ведут как в примере 1, но облучение проводят пучком ионов He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ до флюенса $5 \cdot 10^{14}$ ион/см² при скорости вращения 1 об/мин. Спектр свечения такой волоконной гетероструктуры похож на спектр свечения гетероструктуры из примера 1, однако гетероструктура неоднородна из-за низкой скорости вращения, а интенсивность свечения понижена, что связано с малой концентрацией образовавшихся в результате облучения центров окраски. Такая гетероструктура не может быть рекомендована для практических применений из-за низкой чувствительности к регистрируемому электронному и гамма-излучению.

Пример 3. Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе NaF ведут как в примере 1, но облучение проводят пучком ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ до флюенса $8 \cdot 10^{15}$ ион/см² при скорости вращения 80 об/мин. Спектр свечения полученной волоконной гетероструктуры похож на спектр свечения гетероструктуры из примера 1 с

максимумом при 550 – 650 нм, соответствующим свечению F_2^- и F_3^+ -центров. Сцинтилляции возникают в трубчатом цилиндрическом чехле, образованном дефектным приповерхностным слоем, имеющим толщину ~ 4 мкм. Такая гетероструктура, будучи волокном, совместима с волоконными линиями оптической связи и может быть использована в качестве терминального радиационно-чувствительного сцинтилляционного датчика для регистрации электронного или гамма-излучения.

Пример 4. Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе NaF ведут как в примере 1, но облучение проводят пучком ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ до флюенса $8 \cdot 10^{16}$ ион/см² при скорости вращения 120 об/мин. Спектр свечения такой волоконной гетероструктуры похож на спектр свечения гетероструктуры их примера 3, однако интенсивность свечения оказывается пониженной, что связано с большой концентрацией образовавшихся в результате облучения центров окраски, на которых происходит частичное самопоглощение собственной люминесценции. Кроме того, при больших скоростях вращения для длинных волокон наблюдаются биения. В связи с этим волокно может испытывать чрезмерные центробежные ускорения, что может приводить к поломке волокна и нарушению процесса получения гетероструктуры. Однако в том случае, если такая гетероструктура и будет получена, она будет в меньшей степени пригодна для практических применений, чем гетероструктуры из примеров 1 и 3.

Пример 5. Для изготовления гетероструктуры вначале выращивают волоконный кристалл (кристалловолокно) LiF методом микровытягивания (скорость вытягивания 0,6 мм/мин, температура расплава 980°C). Выращенное волокно LiF имеет диаметр $\sim 0,05$ – $0,2$ мм и длину 25 – 50 мм. Волокно вставляют в цанговый держатель с приводом, обеспечивающим вращение волокна вокруг своей оси, и устанавливают в камере облучения циклотрона. Облучение ведут в вакууме пучком ионов He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ до флюенса $2 \cdot 10^{15}$ ион/см² при скорости вращения волокна 70 об/мин. Ширина пучка выбирается соответствующей длине облучаемой части волокна: 10^{-3} –5 мм. Изготовленная гетероструктура имеет вид кристалловолокна с активной частью, равной длине облученного участка. Спектр свечения активной части волоконной гетероструктуры имеет максимум при 550 – 600 нм. Длительность сцинтилляций при возбуждении импульсными пучками электронов не превышает 8 нс. Сцинтилляции возникают в трубчатом цилиндрическом чехле, образованном дефектным приповерхностным слоем, имеющим толщину ~ 7 мкм. Такая гетероструктура, будучи волокном, совместима с волоконными линиями оптической связи, как и в примерах 1 и 3.

Пример 6. Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе LiF ведут как в примере 5, но облучение проводят пучком ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ до флюенса $5 \cdot 10^{14}$ ион/см² со скоростью 60 об/мин. Спектр свечения такой волоконной гетероструктуры похож на спектр свечения гетероструктуры из примера 5. Сцинтилляции возникают в трубчатом цилиндрическом чехле, образованном в дефектном приповерхностном слое, имеющим толщину ~ 5 мкм. Такая гетероструктура, будучи волокном, имеет вид трубчатой волоконной гетероструктуры, она совместима с волоконными линиями оптической связи.

Пример 7. Изготовление заготовки для гетероструктуры на основе LiF ведут как в примере 5, но облучение проводят пучком ионов N^{3+} с энергией 27 МэВ до флюенса $5 \cdot 10^{14}$ ион/см² при скорости вращения 80 об/мин. В результате такого облучения в приповерхностном слое формируются сложный набор центров окраски и свечения. Спектр свечения имеет усиленную компоненту в синей области. Свечения, аналогичного свечению из примера 6, не наблюдается. Такая гетероструктура в меньшей степени пригодна для практических применений, чем гетероструктуры из примеров 1 и 3, 5, 6.

Пример 8. Изготовление гетероструктуры на основе LiF ведут как в примере 5, но облучение проводят пучком ионов He^+ с энергией 0,5 МэВ до флюенса $5 \cdot 10^{15}$ ион/см² при скорости вращения 80 оборотов в минуту. В результате такого облучения в приповерхностном слое формируются агрегатные центры окраски и свечения в виде поверхностного чехла. Однако глубина расположения слоя оказывается меньше 1 мкм и слой подвержен быстрому истиранию. Такая гетероструктура в меньшей степени пригодна для практических применений, чем гетероструктуры из примеров 1 и 3, 5, 6.

Формула изобретения

Способ изготовления гетероструктур, включающий облучение заготовки из фторида лития или натрия пучком ионов гелия He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ и флюенсом в пределах от $2 \cdot 10^{15}$ до $2 \cdot 10^{16}$ ион/см² или ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ и флюенсом в пределах от $5 \cdot 10^{14}$ до $8 \cdot 10^{15}$ ион/см², отличающийся тем, что в качестве заготовки используют кристалловолокно фторида лития или натрия, предварительно выращенное методом микровытягивания или лазерного разогрева, после чего кристалловолокну придают вращение вокруг своей оси со скоростью 60 – 80 об/мин, и облучают вращающееся кристалловолокно пучком ионов, направленным перпендикулярно оси вращения кристалловолокна.



Фиг. 1

Патент № 2284044 РФ. Кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-3 / Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин, В. В. Жуков, С. И. Горкунова, Д. В. Райков, А. И. Чазов, А. В. Сергеев. Заявл. 13.05.2005; опубл. 20.09.2006. Бюл. № 26.

Реферат

Изобретение относится к неорганическим кристаллическим сцинтилляторам, чувствительным к пучкам рентгеновского и электронного излучения и применяемым для визуализации излучений в системах радиационного мониторинга, таможенного контроля, в системах томографии и неразрушающего контроля, использующих фотоприемные устройства, чувствительные в красном диапазоне спектра, в том числе компактные устройства на базе PIN-фотодиодов. Сущность: кристаллический сцинтиллятор содержит галогениды серебра и таллия при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: хлорид серебра 18,0 – 22,0; бромид серебра 74,5 – 73,0; йодид серебра 0,5 – 1,0; йодид одновалентного таллия 7,0 – 4,0. Технический результат изобретения: разработка сцинтиллятора с максимумом спектра свечения в красной и ближней инфракрасной области спектра, согласующегося со спектральной чувствительностью PIN-фотодиодов и обеспечивающего высокую грузозначную способность детектора.

Описание изобретения

Изобретение относится к сцинтилляционным материалам, конкретно к неорганическим кристаллическим сцинтилляторам, чувствительным к пучкам рентгеновского и электронного излучения и применяемым для визуализации излучений в системах радиационного мониторинга, таможенного контроля, в системах томографии и неразрушающего контроля, использующих фотоприемные устройства, чувствительные в красном диапазоне спектра, в том числе компактные устройства на базе PIN-фотодиодов.

Известен кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-1 (Пат. 2065614 РФ), предназначенный для регистрации излучения от ускорителей и радиоактивных источников. Сцинтиллятор состоит из галогенидов серебра в отношении, мас. %: хлорид серебра 22 – 27, бромид серебра 77,99 – 72,50, йодид серебра 0,01 – 0,05. Сцинтиллятор обладает временным разрешением не хуже 20 нс и световыходом 40 – 50 % относительно световыхода стильбена. Эффективный атомный номер $Z_{эф} = 42,7$. Плотность сцинтиллятора 6,4 г/см³. Однако максимум спектра люминесценции известного сцинтиллятора расположен при 400 нм, полуширина полосы люминесценции составляет 90 нм, т. е. это сцинтиллятор с синим свечением. Такие сцинтилляторы не пригодны для работы с кремниевыми PIN-фотодиодами, чувствительными в основном к красному и инфракрасному излучению.

Известен сцинтиллятор для регистрации бета- и гамма-излучения на основе BaF₂ (Пат. 3382368 США). Однако максимум спектра свечения BaF₂ лежит при 220 нм. Такой сцинтиллятор совершенно не пригоден для работы в режиме фотодиодной регистрации.

Известен сцинтиллятор на основе ZnS:Ag (Пат. 3398278 США; Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с). Однако максимум спектра излучения ZnS:Ag расположен при 450 нм, т. е. известный сцинтиллятор не эффективен для работы в устройствах детектирования с фотодиодной регистрацией.

Известен сцинтилляционный детектор с фотодиодной регистрацией (Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SPD–2000. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992. 2 с). Такой детектор пригоден для регистрации рентгеновского и гамма-излучения в промышленных и медицинских целях. Известный детектор содержит сцинтиллятор CsI:Ti, работающий в сочетании с кремниевым PIN-фотодиодом. Максимум спектра свечения такого сцинтиллятора приходится на желтый диапазон спектра (560 нм), что недостаточно хорошо согласуется со спектральной чув-

ствительностью PIN-фотодиодов, максимум которой расположен в ближней инфракрасной области. Кроме того, длительность сцинтилляций известного сцинтиллятора велика, она составляет 450 нс, такой сцинтиллятор не может обеспечить высокой загрузочной способности регистрирующего тракта.

Известен сцинтиллятор на основе нитрида алюминия $\text{AlN:Y}_2\text{O}_3$ (Импульсная катодолуминесценция керамики на основе нитрида алюминия / Ю. Д. Афонин [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. Вып. 18. С. 89–92). Этот известный сцинтиллятор имеет две полосы в спектре свечения: синюю (345 – 465 нм) и красную с максимумом 600 нм, с длительностью сцинтилляций около 50 нс. Однако интенсивность красного свечения, наблюдаемого в сцинтилляционном импульсе и удобного для регистрации с помощью PIN-фотодиодов, невысока и известный сцинтиллятор оказывается неэффективным в системах с фотодиодной регистрацией.

Наиболее близким по составу к заявляемому сцинтиллятору является кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ–2 (Пат. 2066464 РФ). Известный кристаллический сцинтиллятор содержит галогениды серебра и таллия при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: хлорид серебра 22,000 – 27,000; бромид серебра 77,980 – 72,499; йодид серебра 0,010 – 0,500; галогенид таллия 0,010 – 0,001. Известный сцинтиллятор нетоксичен, отличается высокой пластичностью, пригоден для получения гибких и прочных на разрыв световодов, имеет длительность сцинтилляций ~ 20 нс. Однако максимум спектра излучения известного сцинтиллятора расположен при 400 нм. Он не пригоден для фотодиодной регистрации, поскольку кремниевые PIN-фотодиоды не чувствительны к излучению в ультрафиолетовой и фиолетовой области спектра.

Задачей изобретения является разработка кристаллического сцинтиллятора с максимумом спектра свечения в красной и ближней инфракрасной области спектра, согласующегося со спектральной чувствительностью PIN-фотодиодов и обеспечивающего высокую загрузочную способность детектора.

Предлагаемый кристаллический сцинтиллятор содержит галогениды серебра и таллия при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: хлорид серебра 18,0 – 22,0; бромид серебра 74,5 – 73,0; йодид серебра 0,5 – 1,0; йодид одновалентного таллия 7,0 – 4,0. Повышенное содержание йодида серебра и йодида одновалентного таллия, обеспечиваемое специальной технологией, вызывает в кристаллическом сцинтилляторе появление обменно-связанных пар ионов таллия и смещение спектра свечения в красную область спектра, фиг. 1. Как видно из фиг. 1, спектр свечения предлагаемого сцинтиллятора сосредоточен в основном в красной и ближней инфракрасной (ИК) области спектра от 590 до 765 нм (по полувысоте полосы свечения), максимум спектра свечения расположен при ~ 675 нм. Граница ИК-области излучения предлагаемого сцинтиллятора расположена при 0,85–0,9 мкм. Сцинтилляционный импульс при возбуждении импульсным электронным пучком (электронная пушка МИРА–2Д, $E = 150$ кэВ, $j = 15$ А, $\tau_n = 15$ нс) содержит одну основную экспоненциальную кривую затухания. Длительность сцинтилляций ~ 40 нс. Эффективный атомный номер предлагаемого сцинтиллятора 45,7–45,75, плотность кристаллов 6,6 г/см³, диапазон пропускания от 0,4 до 40 мкм. Световыход в 8 раз выше, чем световыход известного сцинтиллятора на основе нитрида алюминия $\text{AlN:Y}_2\text{O}_3$, однако он не превышает 6–10 % относительно световыхода сцинтиллятора CsI:Tl. Тем не менее, амплитуда сцинтилляционной вспышки предлагаемого сцинтиллятора более чем достаточна для надежной ее регистрации PIN-фотодиодом и предлагаемый сцинтиллятор более эффективен по загрузочной способности в фотодиодных сборках, нежели CsI:Tl.

При уменьшении содержания в кристалле йодида серебра менее 0,5 мас. % и йодида одновалентного таллия менее 4 мас. % область максимума спектра свечения сдвигается в желтый диапазон спектра (500 – 560 нм), что недостаточно хорошо согласуется

со спектральной чувствительностью PIN-фотодиодов (пример 4). При увеличении в кристалле содержания йодида серебра более 1,0 мас. % и йодида одновалентного таллия более 7 мас. % кристалл вырастает блочным и при механической обработке разрушается (пример 5).

Пример 1. Вырастили кристалл (по методу Бриджмена) состава в мас. %: хлорид серебра 18,0; бромид серебра 74,5; йодид серебра 0,5; йодид одновалентного таллия 7,0. Провели оптическую обработку кристалла и измерили характеристики сцинтиллятора. Длительность сцинтилляций ~ 40 нс. Эффективный атомный номер 45,74, плотность сцинтиллятора – 6,6 г/см³, диапазон пропускания от 0,4 до 40 мкм. Сцинтиллятор имеет максимум спектра свечения при 675 нм, его чувствительность согласуется со спектральной чувствительностью кремниевых PIN-фотодиодов и обеспечивает хорошую загрузочную способность.

Пример 2. Вырастили кристалл состава в мас. %: хлорид серебра 22,0; бромид серебра 73,0; йодид серебра 1,0; йодид одновалентного таллия 4,0. После оптической обработки кристалла провели измерения, как в примере 1. Спектр свечения кристаллического сцинтиллятора находится в красной и ближней ИК-области спектра от 590 до 765 нм (по полувысоте полосы свечения). Максимум спектра свечения ~ 675 нм (фиг. 1). Длительность сцинтилляций ~ 35 нс. Сцинтиллятор может быть использован в компактных фотоприемных устройствах на базе PIN-фотодиодов с требуемой загрузочной способностью.

Пример 3. Вырастили кристалл состава в мас. %: хлорид серебра 22,0; бромид серебра 74,0; йодид серебра 0,8; йодид одновалентного таллия 5,2. Все измерения провели, как в примере 1. Спектр свечения лежит в области от 590 до 765 нм (фиг. 1). Длительность сцинтилляций ~ 40 нс. Остальные характеристики как в примере 1.

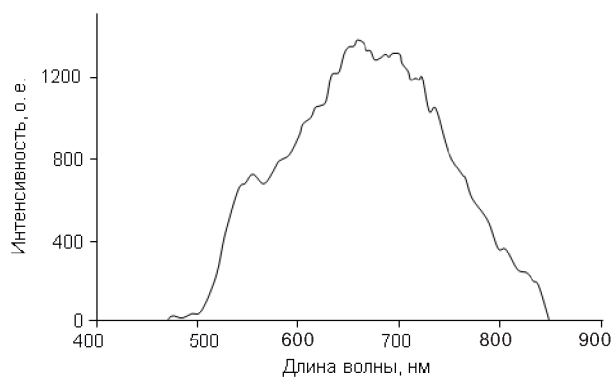
Пример 4. Вырастили кристалл состава в мас. %: хлорид серебра 22,0; бромид серебра 75,7; йодид серебра 0,3; йодид одновалентного таллия 2,0. После оптической обработки кристалла провели измерения, как в примере 1. Максимум спектра свечения расположен при 500 нм, что плохо согласуется со спектральной чувствительностью PIN-фотодиодов. Длительность сцинтилляций ~ 50 нс. Эффективный атомный номер 43,2, плотность – 6,6 г/см³, диапазон пропускания от 0,4 до 40 мкм.

Пример 5. Вырастили кристалл состава в мас. %: хлорид серебра 18,0; бромид серебра 72,5; йодид серебра 2,0; йодид одновалентного таллия 7,5. После вырезания заготовки кристалла на токарном станке и последующего шлифования поверхности кристалла начинается распад твердого раствора. В течение двух–трех суток распад распространяется на глубину $\sim 2 - 3$ мм, что наблюдается по изменению окраски кристалла.

Заявленному веществу присвоено авторское наименование ЛИЯ-3.

Формула изобретения

Кристаллический сцинтиллятор, содержащий галогениды серебра и таллия, отличающийся тем, что в его состав эти ингредиенты входят при следующем соотношении, мас. %: хлорид серебра 18,0 – 22,0; бромид серебра 74,5 – 73,0; йодид серебра 0,5 – 1,0; йодид одновалентного таллия 7,0 – 4,0.



Фиг. 1

Патент № 2297015 РФ. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, А. И. Коссе, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, А. А. Чудиновских. Заявл. 08.02.2006; опубл. 10.04.2007. Бюл. №10.

Реферат

Использование: для обнаружения источников нейтронов, радиоактивных веществ и делящихся материалов в системах радиационного мониторинга местностей и морских акваторий, для индивидуальной дозиметрии. Сущность: применение сцинтиллятора шарообразной формы с отражающим покрытием, вследствие чего все сцинтилляции, возникающие нем, фокусируются в центре шара, где располагаются PIN-фотодиоды. Технический результат: повышение эффективности регистрации излучения.

Описание изобретения

Изобретение относится к детекторам ядерных гамма- и нейтронного излучений и может быть использовано для обнаружения источников нейтронов, радиоактивных веществ и делящихся материалов в системах радиационного мониторинга местностей и морских акваторий, в системах индивидуальной дозиметрии, в системах таможенного радиационного контроля, обнаружения и учета ядерных и радиоактивных материалов на границах страны, а также в любых зонах контроля, оговоренных международными соглашениями.

Известен сцинтилляционный детектор гамма-излучения (Горн Л. С. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений / Л. С. Горн, Б. И. Хазанов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с.), в котором в качестве фотоприемника используют фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), а в качестве сцинтиллятора используют кристалл CsI:Tl в форме цилиндра. Кристалл CsI:Tl имеет плотность 4,51 г/см³, световыход сцинтилляций до 0,45 относительного таковой для NaI:Tl, максимум свечения при 565 нм, длительность сцинтимпульса 450 нс. Однако недостатками такого сцинтилляционного детектора являются невысокий уровень светосбора сцинтилляций из-за цилиндрической формы кристалла, а также большие габариты и вес ФЭУ, и высоковольтное питание для ФЭУ.

Известен сцинтилляционный детектор гамма-излучения (Пат. 3382368 США), включающий сцинтиллятор BaF₂ (плотность 4,88 г/см³) и фотоэлектронный умножитель. Детектор имеет малую длительность сцинтилляций (< 50 нс). Однако сцинтилляционный кристалл BaF₂ из-за цилиндрической формы имеет невысокий уровень светосбора сцинтилляций. Кроме того, максимум спектра свечения BaF₂ лежит в ультрафиолетовой области спектра, $\lambda = 220$ нм, т. е. кристалл BaF₂ непригоден при работе детектора в режиме фотодиодной регистрации из-за нечувствительности PIN-фотодиодов к ультрафиолетовому свету. Недостатком известного сцинтилляционного детектора на основе BaF₂ является также то, что используемый в нем в качестве фотоприемника ФЭУ имеет большие размеры и вес и требует высоковольтного питания, что увеличивает габариты, вес и стоимость детектора в целом.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов (Пат. 3382368 США), включающий замедлитель из полиэтилена или полипропилена, сцинтиллятор ⁶LiI:Eu цилиндрической формы и ФЭУ. Сцинтиллятор имеет плотность 4,06 г/см³, сцинтилляционную эффективность 0,2–0,3 относительно таковой для NaI:Tl и длину волны люминесценции 460 нм. Однако недостатками такого сцинтилляционного детектора являются невысокий уровень светосбора сцинтилляций из-за цилиндрической формы кристалла. Кроме того, сцинтилляционный детектор на основе ⁶LiI:Eu имеет очень большую длительность сцинтилляции $\tau = 1,4$ мкс, требует высоковольтного питания для ФЭУ и имеет большие габариты и вес фотоприемного устройства.

Известен сцинтилляционный детектор (Пат. 3398278 США) быстрых нейтронов, включающий замедлитель из полиэтилена, сцинтиллятор ZnS:Ag и ФЭУ. Сцинтиллятор (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с) имеет световыход, в 2 раза превышающий световыход NaI:Tl , максимум спектра излучения сцинтиллятора расположен при 450 нм. Однако такой детектор имеет большую длительность сцинтилляций $\sim 1\text{--}2$ мкс, не обеспечивает высокой грузозачной способности, имеет большие габариты и вес фотоприемника (ФЭУ).

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов (Rodes N. J. The role of Inorganic Scintillators in neutron detector Technology. / N. J. Rodes, M. W. Jonson. Proceedings of the Int. Conf. on Inorganic Scintillators and Their applications. 1996, Delft, Netherlands. P. 73–80), включающий сцинтиллятор $\text{ZnS(Ag):}^6\text{Li}$ и ФЭУ. Однако такой детектор имеет большую длительность сцинтилляций, $\tau = 1\text{--}2$ мкс, и не обеспечивает повышенной загрузки. Кроме того, он имеет большие габариты, связанные с большими размерами ФЭУ, большой вес и требует высоковольтного питания.

Известен сцинтилляционный детектор (Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Виктор [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029.; Тинг С. Установка ЛЗ, ЛЭП (ЦЕРН): препринт / С. Тинг. Л.: ЛИЯФ, 1987. 52 с.; Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SRD–200. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992. 2 с), включающий сцинтиллятор $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и фотодиод, используемый, в частности, в экспериментах в Европейском ядерном центре (ЦЕРН) на ускорителях коллайдерного типа. Детектор имеет световыход сцинтилляций на уровне 0,1 относительно такового для NaI:Tl и длительность свечения, $\tau = 300$ мкс. Недостатком такого сцинтилляционного детектора является невысокий уровень светосбора сцинтилляций из-за использования кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ цилиндрической формы или в форме удлинённых параллелепипедов (в ЦЕРНе).

Известен сцинтилляционный детектор фирмы SCIONIX Holland (Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SRD–200. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992. 2 с) с фотодиодной регистрацией, содержащий сцинтиллятор, фотодиод и блок обработки сигналов, пригодный для обнаружения рентгеновского (> 60 кэВ) и гамма-излучения. Кристалл имеет форму цилиндра с размерами: диаметр – 40 мм, высота – 50 или 70 мм. В детекторе используют кристалл CsI:Tl $10\times 10\times 10$ мм³, максимум спектра люминесценции которого расположен при 565 нм, и кремниевый PIN-фотодиод. Известный сцинтилляционный детектор с фотодиодной регистрацией обладает длительностью сцинтимпульса $\tau = 450$ мкс, имеет размеры чувствительной поверхности 1 см² и малый чувствительный объём до 5 – 7 см³, поскольку размер одной из граней кристалла, сочетанной с фотодиодом, диктуется размерами приемного окна PIN-фотодиода (1 см²).

Из всех известных сцинтилляционных детекторов гамма- и нейтронного излучений наиболее близким к заявляемому является устройство (Пат. 2248588 РФ), которое содержит сцинтиллятор (чувствительный либо к гамма-излучению, либо к нейтронам), находящийся с ним в оптическом контакте сместитель спектра вместе со светособирающим световодом, который находится в оптическом контакте с PIN-фотодиодом. Все эти элементы детектора помещены в единый корпус. Известное устройство работает в двух (регистрация гамма или нейтронов) функциональных режимах. В случае регистрации гамма-излучения в качестве сцинтилляционного кристалла используют кристалл $\text{Li}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$ диаметром до 4 см и более (т. е. с площадью рабочей грани $\sim 12,6$ см² и более). В кристалле возникают быстрые световые вспышки (сцинтилляции) с длительностью 20 нс. Их спектр свечения расположен в синей области с максимумом при 420 нм. Далее с помощью сместителя спектра коротковолновое свечение преобразуется в длинноволновое и направляется на PIN-фотодиод, который работает либо в счетном, либо в спектрометрическом режимах, и дает информацию либо о мощности дозы, либо о спек-

тре гамма-излучения. В случае режима регистрации нейтронов в качестве сцинтиллирующего кристалла используют кристалл стибьбена, излучение которого через сместитель спектра и через светособирающий световод поступает на PIN-фотодиод. Недостатком известного сцинтилляционного детектора является невысокий уровень светосбора сцинтилляций из-за того, что конструкция детектора не позволяет обеспечивать проведение измерений в 4 π -геометрии.

Задачей настоящего изобретения является повышение уровня (степени) светосбора сцинтилляций, обеспечивающее повышение чувствительности сцинтилляционного детектора. Это достигается за счет того, что в сцинтилляционном детекторе, включающем размещенные в едином корпусе сцинтиллятор, регистрирующий либо гамма-, либо нейтронное излучение, PIN-фотодиод, кабельный канал и блок обработки сигналов, сцинтиллятор выполнен в виде шара, состоящего из 2-х полусфер, находящихся друг с другом в оптическом контакте, а сцинтилляционный детектор дополнительно содержит отражающее покрытие в виде пленки, нанесенной на поверхности полусфер, и 2-й PIN-фотодиод, установленный к 1-му PIN-фотодиоду «спина к спине» в центре шарового сцинтиллятора, в котором выполнены полость для размещения PIN-фотодиодов и кабельный канал для вывода их электрических контактов к блоку обработки сигналов. Кроме того, PIN-фотодиоды может быть выполнены в виде полусфер, при установке образуя форму шара.

Выполнение сцинтиллятора не в виде цилиндра или параллелепипеда, а в виде шара, состоящего из двух полусфер, и играющего одновременно роль световода и снабженного светоотражающей (световозвращающей) пленкой, собирающей в условиях 4 π -геометрии все сцинтилляции в одном фокусе, в котором расположено фотоприемное устройство из двух PIN-фотодиодов, позволило повысить эффективность регистрации излучения предлагаемым сцинтилляционным детектором.

На фиг. 1 представлена схема сцинтилляционного детектора с плоскими PIN-фотодиодами, на фиг. 2 – схема сцинтилляционного детектора со сферическими PIN-фотодиодами.

Заявляемое устройство содержит сцинтиллятор в форме шара, состоящего из двух полусфер 1 и 2, отражающее покрытие 3 в виде пленки, нанесенной на поверхность полусфер 1 и 2, два плоских PIN-фотодиода 4 и 5 (фиг. 1), либо два PIN-фотодиода, выполненных в виде полусфер (фиг. 2), которые при сборке образуют форму шара, установленные в полость 6 в центре полусфер 1 и 2, и расположенные «спина к спине», канал 7 для связи PIN-фотодиодов, которые при помощи кабеля 8 соединены с блоком обработки сигналов 9, помещенные в единый корпус 10.

Сущность изобретения заключается в том, что вследствие шарообразной формы сцинтиллятора (CsI:Tl или Bi₄Ge₃O₁₂ или Lu₂SiO₅:Ce – при регистрации гамма-излучения; стибьбен – при регистрации нейтронов) все сцинтилляции, возникающие в полусферах 1 и 2 шара, будут благодаря отражающему покрытию 3 фокусироваться в центре шара в месте расположения PIN-фотодиодов 4 и 5. В этом случае объем сцинтилляционного кристалла не лимитируется размерами входного окна PIN-фотодиодов, расположенных в центре детектора «спина к спине». Отличительной особенностью предлагаемого изобретения является новая шаровая конструкция сенсорного элемента детектора – сцинтиллятора. Такая конструкция обеспечивает 4 π -геометрию светосбора сцинтилляций и 4 π -геометрию измерения радиации, и повышает чувствительность сцинтилляционного детектора.

Устройство работает в двух функциональных режимах (регистрация гамма-излучения или нейтронов) следующим образом. В случае регистрации гамма-излучения используют сцинтиллятор CsI:Tl, изготовленный в виде двух полусфер с небольшой полостью точно в центре полусфер и узким кабельным каналом для вывода и передачи сигналов с PIN-фотодиодов на блок обработки сигналов. Две полусферы, образующие

шаровой сцинтиллятор, имеют между собой оптический контакт. Сцинтилляции, возникающие в кристалле CsI:Tl имеют длину волны излучения 565 нм и надежно регистрируются PIN-фотодиодами фирмы Hamamatsu, которые работают либо в счетном, либо в спектрометрическом режимах. Это дает информацию либо о плотности потока гамма-излучения, либо о спектре гамма-излучения. Последнее необходимо для обнаружения и идентификации гамма-излучения. Предлагаемая шаровая конструкция является идеальной для проведения низкофоновых измерений. Она обеспечивает максимально возможную чувствительность вследствие реализуемой 4 π -геометрии измерения. При низкофоновых измерениях большая длительность сцинтилляций кристалла CsI:Tl 450 нс не является недостатком, поскольку из-за низкой величины фона загрузка детектора невелика (меньше, чем 10³ имп/с) и наложения импульсов не происходит.

Кроме того, плотность CsI:Tl достаточно высока 4,51 г/см³ и эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}}$ для CsI:Tl достаточно высок ($Z_{\text{эф}} = 54$), что обеспечивает высокую эффективность регистрации гамма-излучения практически всех радиоактивных изотопов. Последнее является необходимым условием для обеспечения радиационного мониторинга территорий и зон хранения радиоактивных отходов.

Совершенно аналогичное устройство используется в случае применения сцинтиллятора на основе ортогерманата висмута Bi₄Ge₃O₁₂ (BGO). Сцинтилляции, возникающие в кристалле BGO имеют длину волны излучения 565 нм и надежно регистрируются PIN-фотодиодами фирмы Hamamatsu. Длительность сцинтилляций такого детектора 300 нс, что не влияет на качество низкофоновых измерений из-за низкой плотности в том числе потока γ -излучения.

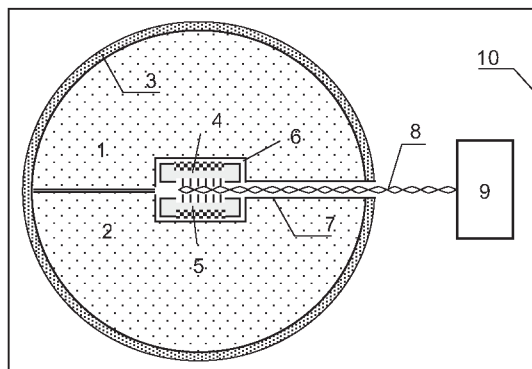
Аналогичное устройство используется в случае применения сцинтиллятора на основе кристалла Lu₂SiO₅:Ce. Однако сцинтилляции, возникающие в кристалле Lu₂SiO₅:Ce имеют максимум длины волны излучения в синей области спектра и для надежной их регистрации с помощью PIN-фотодиодов между PIN-фотодиодами и шарообразным сцинтиллятором дополнительно устанавливают сместитель спектра, выполненный в виде тонкой пленки или покрытия. Сместитель спектра смещает максимум длины волны излучения сцинтиллятора из синей области спектра в красную, что позволяет надежно регистрировать прошедшие сместитель спектра сцинтилляции с помощью PIN-фотодиодов фирмы Hamamatsu.

В случае режима регистрации нейтронов используется аналогичное устройство, но в качестве сцинтилляционного кристалла используют кристалл стибьена, обладающий синим свечением с длинной волны $\lambda = 390$ нм. В этом случае, как и для кристалла Lu₂SiO₅:Ce, обязательно используют сместитель спектра, позволяющий регистрировать излучение сцинтиллятора PIN-фотодиодами.

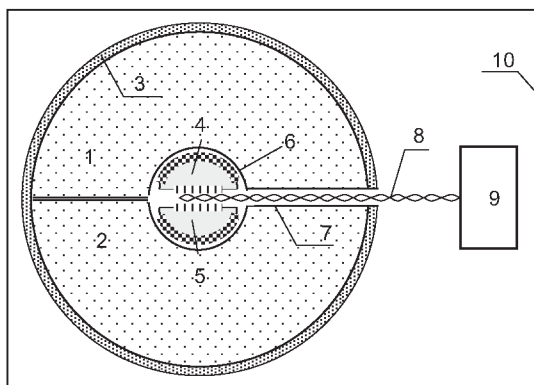
Формула изобретения

1. Сцинтилляционный детектор, включающий размещенные в едином корпусе сцинтиллятор, регистрирующий либо гамма-, либо нейтронное излучение, PIN-фотодиод, кабельный канал и блок обработки сигналов, отличающийся тем, что сцинтиллятор выполнен в форме шара, состоящего из двух полусфер, находящихся друг с другом в оптическом контакте, а сцинтилляционный детектор дополнительно содержит отражающее покрытие в виде пленки, прилегающей к поверхности полусфер, и второй PIN-фотодиод, установленный к первому PIN-фотодиоду «спина к спине» в центре шарового сцинтиллятора, в котором выполнены полости для размещения PIN-фотодиодов и кабельный канал вывода их электрических контактов к блоку обработки сигналов.

2. Сцинтилляционный детектор по п.1., отличающийся тем, что PIN-фотодиоды имеют полусферическую форму.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент № 2297648 РФ. Способ получения сцинтиллирующего состава для регистрации нейтрино / Б. В. Шульгин, Г. С. Денисов, Е. В. Вараксина, В. Ю. Иванов, А. В. Ищенко, Т. С. Королева, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов. Заявл. 26.12.2005; опубл. 20.04.2007. Бюл. №11.

Реферат

Применение: регистрации нейтрино и антинейтрино. Сущность: сцинтиллирующий состав для регистрации нейтрино на основе фторида натрия, активированного иттербием и ураном, дополнительно содержит связанный кислород при следующем соотношении компонентов (мол. %): NaF (99,97–99,6); YbF₃ (0,01 – 0,3); UO₂(NO₃)₂ (0,01 – 0,05); кислород (0,01 – 0,05). Технический результат: повышение эффективности регистрации нейтрино.

Описание изобретения

Изобретение относится к области ядерной физики, астрофизики и физики высоких энергий, конкретно к области технологии регистрации нейтрино и антинейтрино (далее нейтрино), включая солнечные, космические, реакторные нейтрино, нейтрино, получаемые с помощью ускорителей; оно пригодно для создания нейтринных телескопов, нейтринных детекторов и нейтринных детекторных комплексов наземного и космического базирования, пригодных для удаленного, включая трансземное, обнаружения стационарных и мобильных ядерных реакторных и ускорительных установок и для астрофизических исследований.

Нейтрино ν и антинейтрино $\bar{\nu}$ обладают огромной проникающей способностью вследствие их чрезвычайно низкого сечения взаимодействия с большинством ядер элементов. Например, сечение взаимодействия антинейтрино с ядрами водорода (наиболее часто использующимися при детектировании в составе большеобъемных жидких или пластиковых сцинтилляционных детекторов) по реакции

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n, \quad (1)$$

равно $\sigma_{\bar{\nu}_e} = 9,4 \cdot 10^{-44} \text{ см}^2$. (Большой энциклопедический словарь. Физика / Ред. А. М. Прохоров. М. Большая Российская энциклопедия, 1998. 944 с) Нейтрино и антинейтрино отличаются своим происхождением: нейтрино рождается в паре с позитроном, а антинейтрино в паре с электроном. Для регистрации нейтрино используют пузырьковые, искровые камеры или сцинтилляционные жидкостные или твердотельные детекторы. Сцинтилляционные детекторы получили широкое распространение.

При регистрации нейтрино (антинейтрино) помощью жидкостного сцинтиллятора по реакции (1) сцинтилляции в жидком детекторе возникают за счет двух процессов. Первый связан с регистрацией γ -квантов от аннигиляции позитрона e^+ и электрона (два γ -кванта с энергией 0,511 МэВ каждый), второй, смещенный во времени сигнал, связан с регистрацией γ -квантов от продуктов реакции нейтрона n с ядрами элементов, добавляемых в жидкий сцинтиллятор специально для захвата нейтронов ядрами элементов, имеющих повышенное сечение взаимодействия с нейтронами, например, в случае добавки ядер ^{10}B вследствие реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha, \gamma)^7\text{Li}$ образуются γ -кванты с энергией 0,488 МэВ. Наличие двух последовательных сигналов от этих сцинтилляторов достоверно подтверждает факт регистрации нейтрино. В последнее время в мировой практике для регистрации нейтрино и антинейтрино стали применяться твердотельные сцинтилляционные составы, содержащие либо ядра водорода (пластики), с помощью которых по реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ идет регистрация нейтрино, либо содержащие ядра элементов с повышенным сечением взаимодействия с нейтрино (антинейтрино), например, изотопы

иттербия ^{176}Yb . Ниже описаны известные аналоги сцинтилляционных детекторов на жидкой (водородсодержащей) и твердотельной (водородсодержащей и другой) основе.

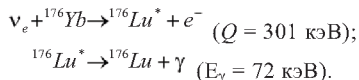
Известен нейтринный сцинтилляционный детектор (An overview of the KamLAND 1 kiloton Liquid Scintillator / F. Suekane, T. Iwamoto, H. Ogawa, O. Tajima, H. Watanabe // Proceedings of the KEK-RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Their Application In Particle and Nuclear Physics. KEK, Tsukuba, Japan, 2003. P. 279–290). Детектор в виде шарообразного сосуда диаметром 13 м состоит из жидкого сцинтиллятора, имеющего состав 80 об. % нормального додекана + 20 об. % псевдокумена + 1,52 г/л PPO. Регистрация нейтрино проводится по известной реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ и далее $n + p \rightarrow d + \gamma$ (2,2 МэВ). Первичные световые вспышки в жидком сцинтилляторе возникают при прохождении позитронов e^+ через жидкий сцинтиллятор и их аннигиляции с электронами. Второй сигнал, связанный с γ -квантами (2,2 МэВ) появляется через 200 мкс после появления позитронного сигнала. Два регистрируемых сигнала обеспечивают достоверность регистрации нейтрино. Однако удельная эффективность регистрации нейтрино таким детектором невысока из-за низкого сечения реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$, на уровне $\approx 9 \cdot 10^{-44} \text{ см}^2$.

Известен сцинтилляционный детектор нейтрино, именуемый авторами Сци-Бар-детектор (Hirokazu Maesaka. The K2K SciBar Detector // Proceedings of the KEK-RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Their Application In Particle and Nuclear Physics. KEK, Tsukuba, Japan, 2003. P. 185 – 198.; Hasegawa M. Calibration system of the K2K SciBar Detector // Proceedings of the KEK-RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Their Application In Particle and Nuclear Physics. KEK, Tsukuba, Japan, 2003. P. 243–248). Известный сцинтилляционный детектор нейтрино содержит 14400 сцинтилляционных блоков – стрипов из пластика (органический сцинтиллятор). Каждый стрип имеет продольный канал, содержащий светособирающее волокно, играющее одновременно роль сместителя спектра. Сенсором, веществом чувствительным к нейтрино, является сцинтиллирующий состав – пластик (водородсодержащее вещество на основе полистирена с добавками PPO (1 мас. %) PPOP (0,03 мас. %)). Однако в этом сцинтиллирующем составе нейтрино (антинейтрино) регистрируются по реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$, имеющей невысокое сечение, равное $\sigma_{\bar{\nu}_e} = 9,4 \cdot 10^{-44} \text{ см}^2$. Таким образом, недостатком известного сцинтиллирующего состава для детектирования нейтрино является его невысокая чувствительность к нейтрино, вследствие невысокого сечения взаимодействия сенсорных ядер с нейтрино. Кроме того, имеется еще один существенный недостаток известного сцинтилляционного детектора нейтрино: плохое согласование спектра свечения пластика на основе полистирена (с PPO и PPOP), обладающего фиолетово-синим свечением, со спектральной чувствительностью фотоприемных устройств, поэтому светособирающие волокна вынуждены изготавливать из материала, способного играть роль сместителя спектра: они преобразуют голубое свечение пластика ($\lambda = 430 \text{ нм}$) в сине-зеленое свечение ($\lambda = 476 \text{ нм}$) и обеспечивают транспортировку сине-зеленого света к многоканальному (64 канала) фотоэлектронному умножителю, играющему роль фотоприемника. Таким образом, волоконные сместители спектра в сцинтилляционном детекторе нейтрино являются критическим компонентом при светосборе. Это специально отмечено в вышеприведенном источнике информации, как недостаток.

Известен сцинтиллирующий состав для регистрации нейтрино на основе двух групп волокон: неорганических кристаллических волокон $\text{AgCl}-\text{AgBr}-\text{AgI}$ и волокон из пластика, – органического $(\text{CH})_n$ материала (Пат. 2154290 РФ). Такой состав был предложен для глубоководных измерений световых вспышек, вызванных нейтрино по их реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ с ядрами водорода. Однако эффективность регистрации нейтрино

таким составом невысока из-за малого сечения реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ на ядрах водорода пластика.

Известны сцинтиллирующие составы, содержащие изотоп ^{176}Yb , для регистрации нейтрино (Pedrini C. Crystals and ThIn films for Scintillators / С. Pedrini, С. Dujardin, N. Garnier // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2002. Вып. 11. С. 3–29). Эти составы обеспечивают регистрацию нейтрино за счет реакций:



Сцинтилляционные импульсы, вызванные быстрым электроном и (с задержкой 50 нс) квантом рентгеновского излучения ($E = 72 \text{ кэВ}$), достоверно подтверждают факт регистрации нейтрино. Известен сцинтиллирующий состав для регистрации нейтрино, на основе граната YAG:Yb , полная формула $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Yb}$ (с содержанием Yb 2, 15 и 50 мол. %). Такой детектор характеризуется наносекундными сцинтилляциями со спектром свечения в области 330 (интенсивная) и 500 нм (слабая полоса). Инфракрасная полоса 1,01 мкм в спектре YAG:Yb , непосредственно связанная с переходами в ионах Yb^{3+} , имеет малую интенсивность. Свечение 330 и 480 нм связано с полосами переноса заряда в центрах $\text{Yb}^{3+} + h\nu + e_c$ (здесь $h\nu$ – дырка в валентной зоне; e_c – электрон в зоне проводимости). Однако такой состав (регистрация нейтрино имитировалась регистрацией квантов рентгеновского и гамма-излучения) имеет ощутимый световыход сцинтилляций только при температурах не выше 150 – 170 К. Он не может функционировать при комнатной температуре, вследствие температурного тушения сцинтилляций и снижения их интенсивности практически до уровня фона. Аналогичная ситуация зафиксирована (тот же источник информации) для сцинтиллирующих составов для регистрации нейтрино на основе LuAG:Yb (15 %) и YAP:Yb (8 %). Они так же, как и YAG:Yb не пригодны для регистрации нейтрино при комнатной температуре.

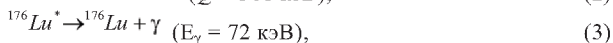
Известны сцинтиллирующие составы на основе кристаллов NaF:U,Me , где $\text{Me} = \text{Cu, Na, Ti, Pb}$ (Кидибаев М. М. Радиационно-стимулированные процессы в кристаллах $(\text{Li,Na})\text{F:U,Me}$ / М. М. Кидибаев. Каракол; Екатеринбург: ИГУ; УГТУ, 1999. 220 с). Так, сцинтиллятор состава (мол. %) NaF 99,98–99,9, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,01 – 0,05, CuF_2 0,01 – 0,05, работающий в токовый режим, на порядок превышает по световыходу такой сцинтиллятор как YAG:Ce ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{-Ce}$). Однако, известные сцинтиллирующие составы на основе NaF:U,Me обеспечивают регистрацию нейтрино за счет реакции с ядрами ^{19}F и ^{23}Na . Сечение этих реакций недостаточно высоко ($\sim 10^{-44} \text{ см}^2$), и поэтому эффективность регистрации нейтрино невысокая.

Известны сцинтиллирующие составы для регистрации нейтрино на основе фторида лития LiF (Кидибаев М. М. Радиационно-стимулированные процессы в кристаллах $(\text{Li,Na})\text{F:U,Me}$ / М. М. Кидибаев. Каракол; Екатеринбург: ИГУ; УГТУ, 1999. 220 с.; Викторов Л. В., Скориков В. М., Жуков В. М., Шульгин Б. В. // Неорганические материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029). Так сцинтилляционный детектор LiF:U,Cu имеет длительность сцинтилляции $\tau \approx 40 \text{ мкс}$, длину волны излучения $\lambda = 525 \text{ нм}$, эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}} = 8,2$. Световыход относительно NaI:Tl $S_{\text{отн}} = 5,2\%$. Другой известный сцинтиллирующий состав для регистрации нейтрино LiF:W (New Thermal neutron detector LiF(W) / Т. А. Charkina [et al.] Book of Abstracts Int. Conf. on Inorganic Scintillators and Their Applications, SCINT-95, 1995. Р. 161) также имеет невысокий световыход: $\tau \approx 40 \text{ мкс}$, $\lambda = 430 \text{ нм}$, $Z_{\text{эф}} = 8,2$, $S_{\text{отн}} = 3,2$. Однако, известные сцинтиллирующие составы обеспечивают регистрацию нейтрино за счет реакции с ядрами ^{19}F и ^7Li . Сечение

этих реакций недостаточно высоко ($\sim 10^{-44}$ см²), и поэтому эффективность регистрации нейтрино известным сцинтиллирующим составом невысокая.

Известны сцинтиллирующие составы на основе легированных или чистых кристаллов LiF и NaF с центрами окраски LiF:Sc, LiF:Sr, LiF:U,Cu, NaF:U,Cu (Сцинтилляторы на основе кристаллов LiF и NaF с центрами окраски / Д. В. Райков [и др.] // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. трудов. Екатеринбург: ГОУ УГТУ–УПИ, 2002. Вып. 10. С. 4–10) с основной полосой свечения в области 600 – 750 нм (максимум при 670 нм) и длительностью сцинтилляции порядка наносекунд. Красная полоса свечения 660 – 750 нм сцинтилляторов является основной, ее интенсивность в 3–8 раз превышает интенсивность дополнительных сине-зеленых полос свечения в области 440 – 520 нм. Природа этих полос связана в основном с центрами окраски F₂-типа (670 нм) и F₃⁺-типа (440 – 520 нм). Сцинтилляторы на центрах окраски в легированных или чистых кристаллах LiF и NaF пригодны для регистрации импульсных электронных пучков и для регистрации рентгеновского излучения. Однако применение известных сцинтилляторов на центрах окраски для регистрации нейтрино ограничено из-за низкого сечения взаимодействия последних с ядрами ⁷Li и ¹⁹F.

Наиболее близким к заявленному по составу и выполняемым функциям является сцинтиллирующий состав NaF:Yb (Спектры рентгенолюминесценции кристаллов NaF:Yb / Б. В. Шульгин, Г. С. Денисов, А. С. Бекташов, Е. Н. Вараксина, А. В. Ищенко, Е. А. Меньшикова, Т. В. Хисамбиева, В. С. Черемных // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. трудов. Екатеринбург: ГОУ УГТУ–УПИ, 2005. Вып. 20. С. 43–46). Регистрация нейтрино происходит благодаря реакции:



имеющей повышенное сечение. Однако световой выход известного сцинтилляционного детектора (максимумы свечения расположены при длинах волн 480 и 645 нм) очень мал (доли % относительно световыхода NaI:TI), так что эффективность регистрации нейтрино с помощью состава NaF:Yb очень низкая, несмотря на достаточно высокие сечения реакции (3.8).

Предлагаемым изобретением решается задача повышения сцинтилляционной эффективности сцинтиллирующего состава для регистрации нейтрино. Заявленный сцинтиллирующий состав для регистрации нейтрино обеспечивающий повышение эффективности регистрации нейтрино, представляет собой фторид натрия с добавками иттербия (изотоп ¹⁷⁶Yb), урана и кислорода. Он обеспечивает повышение сцинтилляционной эффективности регистрации нейтрино в несколько раз. Сцинтиллирующий состав содержит (мол. %) NaF 99,97–99,60; YbF₃ 0,01–0,3; UO₂(NO₃)₂ 0,01–0,05; связанный кислород 0,01–0,05. Спектр рентгенолюминесценции предлагаемого сцинтиллирующего состава NaF:Yb,U,O для регистрации нейтрино показан на фиг. 1. Для сравнения на фиг. 2. показан спектр рентгенолюминесценции прототипа NaF:Yb.

Регистрация нейтрино имитировалась регистрацией рентгеновского излучения. Как видно из рис. 3.7, при рентгеновском возбуждении, световой выход состава NaF:Yb,U,O в 25 – 30 раз превышает световой выход известного сцинтиллирующего состава NaF:Yb. Основные полосы свечения сцинтиллирующего состава NaF:Yb,U,O расположены в области 518–630 нм с максимумами при 518, 535, 549, 555 (наиболее интенсивная полоса), 571, 578, 596, 603, 623 и 630 нм, что хорошо согласуется со спектральной чувствительностью мультищелочных фотокатодов и PIN-фотодиодов.

Сущность изобретения заключается в том, что благодаря применению изотопа ¹⁷⁶Yb сцинтиллирующий состав обеспечивает высокую эффективность регистрации нейтрино по двум причинам: за счет высокого сечения взаимодействия нейтрино с ве-

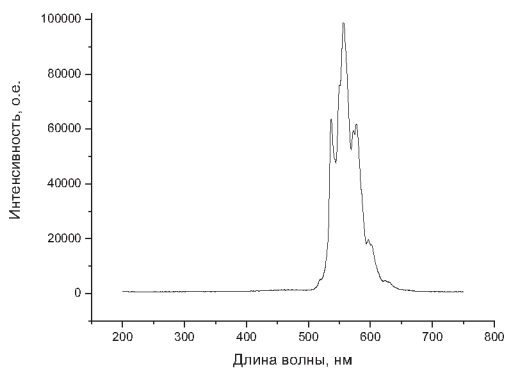
ществом детектора по реакциям (3.8) и (3.9) и за счет повышенного световыхода сцинтилляций сцинтиллирующего состава. Все это является условием повышенной сцинтилляционной эффективности регистрации нейтрино сцинтиллирующим составом. Пример состава NaF:Yb это подтверждает, что если световыход сцинтилляций мал, итоговая эффективность регистрации нейтрино будет низкой. У NaF:Yb световыход мал, поэтому он не пригоден для регистрации нейтрино. Увеличение световыхода удалось добиться путем добавлении примеси иттербия и урана в сочетании со связанным кислородом, в решетку NaF. Это обеспечивает создание в NaF:Yb,U,O эффективных связанных центров свечения типа UO_5F , что повышает световыход сцинтилляций в 20 – 30 раз в сравнении с таковым для состава, имеющего только примесь иттербия NaF:Yb.

Предлагаемый сцинтиллирующий состав для регистрации нейтрино используют в виде монокристаллов. Указанные пределы содержания фторида натрия, примесей иттербия, урана и кислорода в предполагаемом составе определены требованиями стехиометрии и изоморфной емкости для получения кристаллов с кубической структурой, характеризующихся высоким оптическим качеством. Активирующее действие урана со связанным кислородом в сочетании с высокими оптическими качествами кристаллической матрицы состава обеспечивает повышение сцинтилляционной эффективности регистрации нейтрино, осуществляемой с помощью ^{176}Yb -изотопа. Отклонение от пределов концентрации Yb,U и O ведет к уменьшению сцинтилляционной эффективности.

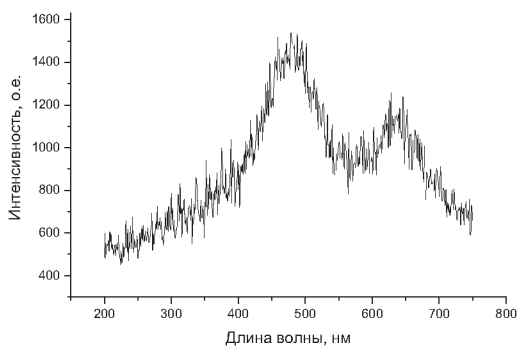
Пример. Выращивание монокристаллов NaF:Yb,U,O производят из расплава по методу Киропулоса на ориентированные затравки из компонентов особой чистоты (марки о.с.ч). Прокаленные компоненты NaF:YbF₃ и $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ взвешивают в соответствии с формулой состава и тщательно перемешивают, затем просушивают и расплавляют в платиновом тигле. Выращивание кристалла длиной 2–8 см, диаметром 1,5 – 2 см ведут методом Киропулоса со скоростью до 1 мм/час при температуре 1000°C на воздухе. После выращивания кристаллы отжигаются на воздухе при температуре 720 – 740°C в течение 2 – 3 часов. Операция отжига является необходимым условием приведения системы NaF:U,Yb,O в состояние, при котором система насыщается примесным кислородом, а примеси Yb^{3+} и U^{6+} располагаются в регулярных узлах кристаллической решетки, замещающая ионы Na^+ с необходимой компенсацией избыточного заряда Yb^{3+} и U^{6+} за счет примесных ионов O^{2-} , замещающих ионы F⁻. Регулярное положение примесных ионов U в Na^+ узлах решетки NaF подтверждено методом Резерфордского обратного рассеяния при концентрациях урана, ограниченных формулой изобретения. Содержание кислорода сопряжено с содержанием урана. Из кристалла NaF:U,Yb,O выкалывают пластинки толщиной 1 – 5 мм, диаметром 15 – 20 мм. Для этих образцов измеряют сцинтилляционные характеристики (спектр свечения и световыход), которые приведены в табл. 1.

Формула изобретения

Способ получения сцинтиллирующего состава для регистрации нейтрино на основе фторида натрия, активированного иттербием и ураном, отличающийся тем, что он дополнительно содержит связанный кислород при следующем соотношении компонентов (мол. %): NaF 99,97–99,6; YbF₃ 0,01 – 0,3; $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,01 – 0,05; кислород 0,01 – 0,05.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Таблица 1

Сцинтилляционные характеристики образцов

Состав сцинтиллятора, мол. %				λ_m , нм	$C_{отн}$	τ_e , мкс	T, К
NaF	YbF ₃	UO ₂ (NO ₃) ₂	O				
99,97	0,3	прототип	прототип	480 – 645	0,03–0,05	—	—
99,6	0,3	0,05	0,05	555 ¹⁾	~1,0	> 40	300
99,97	0,01	0,01	0,01	555 ¹⁾	~1,0	> 40	300
99,7	0,2	0,05	0,05	555 ¹⁾	~1,0	> 40	300
99,0	1,0 ²⁾	1,0 ²⁾	1,0		~2,0	-	-
Базовый объект CsI:Ti				510	~1,0 ³⁾	0,6	300
Аналог YAG:Yb					~0,01		300
Синтез в инертной атмосфере без кислорода				—	0	—	—
99,6	0,3	0,1	—				

Патент № 2300782 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов / В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, А. В. Кружалов, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 08.08.2005; опубл. 10.06.2007. Бюл. №16.

Реферат

Изобретение относится к области детектирования быстрых и тепловых нейтронов, а также гамма-излучения. Оно пригодно для использования в стационарных и переносных устройствах обнаружения делящихся и радиоактивных материалов (урана, плутония, юрия, калифорния и изделий из них), предназначенных для дозиметрических служб контроля предприятий атомной промышленности, таможенных служб, а также для служб по предотвращению акций ядерного терроризма.

Суть изобретения заключается в том, что предлагаемый сцинтилляционный детектор нейтронов, состоящий из датчика-сцинтиблока, включающего в себя пластиковый сцинтиллятор для регистрации быстрых нейтронов, стеклянный сцинтиллятор на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -содержащего силикатного стекла для регистрации тепловых нейтронов, светоотражающее зеркало и фотоприемное устройство в виде фотодиодного регистратора или многоканального фотоумножителя, и блока электронной обработки сигналов, содержит модифицированный пластиковый сцинтиллятор, выполненный в виде параллелепипеда или цилиндра со светоотражающим покрытием по всей внешней боковой поверхности, и сцинтиллятор из ${}^6\text{Li}$ -содержащего силикатного стекла с церием, выполненный в виде стекловолокон, размещенных в продольных внутренних каналах пластикового сцинтиллятора, образующих объемно-волоконный детектор.

Описание изобретения

Заявляемое устройство относится к области детектирования быстрых и тепловых нейтронов, а также гамма-излучения. Оно пригодно для использования в стационарных и переносных устройствах обнаружения делящихся и радиоактивных материалов (урана, плутония, юрия, калифорния и изделий из них), предназначенных для дозиметрических служб контроля предприятий атомной промышленности, таможенных служб, а также для служб по предотвращению акций ядерного терроризма.

Известен селективный детектор нейтронов (Пат. 3688118 США). Он содержит электронный блок обработки информации и два датчика-сцинтиблока, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, а другой – только к заряженным частицам. В качестве фотоприемников в датчиках-сцинтиблоках используются фотоэлектронные умножители. Число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом с датчиков, выделяемым с помощью электронного блока. Однако для датчика, чувствительного одновременно к заряженным частицам и нейтронам, эффективность регистрации нейтронов не может быть высокой. Известный детектор нейтронов не пригоден для одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов, кроме того он не может работать в сочетании с компактными фотодиодными фотоприемными устройствами, в частности с PIN-фотодиодами или многоканальными фотоэлектронными умножителями.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского физико-технического института, 1990). Датчик детектора представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации быстрых нейтронов. Детектор имеет следующие характеристики: длительность сцинтимпульса, создаваемого нейтронами – 8,5 нс; световой выход (УЕСВ по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ – 0,29; максимум спектра люминесценции – 490 нм, диаметр и высота – до 50 мм. Однако такой детектор не пригоден для одновременной реги-

страции быстрых и тепловых нейтронов, кроме того он пригоден для работы только с обычными одноканальными фотоэлектронными умножителями и не может работать в сочетании с фотодиодными фотоприемными устройствами, в частности, с PIN-фотодиодами или с мультипиксельными (многоканальными) фотоэлектронными умножителями.

Известен сцинтилляционный детектор для регистрации нейтронов и гамма-излучения (Пат. 4482808 США). Детектор содержит сцинтилляционный однокристалльный датчик-сцинтиблок, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-излучению, а также блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-излучением. Однако известный детектор не обладает функциональными возможностями, необходимыми для одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов. Другим недостатком известного сцинтилляционного детектора является невозможность использования в таком детекторе в качестве фотоприемников компактных фотодиодных устройств, в частности, PIN-фотодиодов или многоканальных фотоэлектронных умножителей.

Известен сцинтилляционный детектор для регистрации ионизирующего излучения (Пат. 2088952 РФ). Известный детектор содержит датчик-сцинтиблок и блок электронной обработки сигналов. Датчик-сцинтиблок состоит из последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также α -, β -, γ -излучениям, и большеразмерного световода, изготовленного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стиблена или пластмассы (СН)_n, чувствительного к быстрым нейтронам, а также фотоэлектронного умножителя, преобразующего световые вспышки (сцинтилляции) в электрические сигналы. Блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтиимпульсов, поступающих в него как от α -, β -, γ -сцинтиллятора $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (длительностью 300 нс), так и от сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов световода (с длительностью сцинтилляций до 5 – 7 нс). Однако данный детектор, будучи чувствительным к быстрым нейтронам, не чувствителен к тепловым нейтронам и не пригоден для их регистрации. Известный сцинтилляционный детектор не пригоден также для работы в сочетании с компактными фотодиодными или многоканальными фотоприемными устройствами.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов и гамма-излучения (Пат. 2189057 РФ). Детектор содержит датчик-сцинтиблок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор, (n , α , γ)-конвертор из карбида или нитрида бора в виде чехла, надетого на сцинтилляционный кристалл NaI:Tl , и фотоэлектронный умножитель, а также блок электронной обработки информации. Однако такой детектор имеет целый ряд недостатков:

- эффективность фотосбора сцинтилляций, возникающих в пластике от быстрых нейтронов, невысока по целому ряду причин: (а) пластик соприкасается с фотоприемником (ФЭУ) не всей плоскостью, а только по периферийному кольцу; (б) площадь соприкосновения пластика с окном ФЭУ составляет 30 – 40 % от площади окна, поэтому эффективность фотосъема не превышает 30 – 40 % от фотосбора в режиме, когда сцинтиллятор соприкасался бы с ФЭУ всем своим рабочим торцом; (в) чехол (n , α , γ)-конвертора из карбида или нитрида бора является светонепроницаемым и часть сцинтилляций, возникающих в пластике, поглощается в чехле и не доходит до ФЭУ, т. е. не регистрируется;
- стойкость к удару такого детектора понижена из-за высокой гигроскопичности сцинтилляционного кристалла NaI:Tl ;

- блок обработки сигналов известного детектора оказывается сложным из-за необходимости регистрации и обработки 4-х групп сигналов, различающихся по длительности и амплитуде;
- детектор не пригоден для работы с фотодиодными регистрирующими или многоканальными фотоприемными устройствами.

Известен сцинтилляционный детектор, пригодный для измерения заряженных частиц и нейтронов (Hirokazu Maesaka. The K2K SciBar Detector // Proceedings of the KEK-RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Their Application In Particle and Nuclear Physics. KEK, Tsukuba, Japan, 2003. P. 185 – 198). Детектор состоит из 15000 пластиковых сцинтилляционных блоков размерами $2,5 \times 1,3 \times 300$ см³. Каждый блок имеет расположенный в его центре канал диаметром 1,8 мм по всей длине блока. По всей длине такого канала располагается волоконный фотолюминесцентный световод из органического материала диаметром 1,5 мм, выполняющий две функции: функцию светосбора (собирает синий свет от вспышек в сцинтиллирующем пластике) и одновременно функцию смещения спектра свечения пластика с синего на зеленый диапазон (за счет стоксовского сдвига при фотовозбуждении зеленого люминесцентного свечения в волокне синим возбуждающим светом вспышек пластикового блока) для обеспечения лучшего согласования со спектральной чувствительностью фотоприемника. В качестве фотоприемника в известном детекторе используют 64-пиксельный мультянодный фотоэлектронный умножитель фирмы Хамаматсу Фотоникс типа H7546. Однако известный детектор с пластиковым сцинтиблочком может регистрировать только быстрые нейтроны, которые вызывают появление протонов отдачи и которые в свою очередь в веществе пластика создают световые вспышки. В известном детекторе отсутствуют сенсорные элементы для регистрации тепловых нейтронов, т. е. он не пригоден для их регистрации.

Известен сцинтилляционный детектор, пригодный для регистрации заряженных частиц и нейтронов (Taichi Morita. Performance and calibration of wave length Shifting fibers for K2K SciBar detector // Proceedings of the KEK-RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Their Application In Particle and Nuclear Physics. KEK, Tsukuba, Japan, 2003. P. 227–231). Детектор состоит из 15 тысяч пластиковых сцинтиблоков. Каждый сцинтиблок известного детектора содержит, в частности, 16 волоконных светособирающих и светосдвигающих фотолюминесцентных световодов, размещенных в продольных каналах пластикового сцинтиллятора для сбора и регистрации фотовспышек в пластике и передачи этой информации на 16-пиксельный мультянодный фотоэлектронный умножитель с последующей обработкой сигналов в блоке обработки информации. Однако известный сцинтилляционный детектор с помощью пластикового нейтронно-чувствительного сцинтиллятора и входящих в сцинтиблок фотолюминесцентных светособирающих и светосдвигающих волокон может регистрировать только быстрые нейтроны. Он непригоден для регистрации тепловых нейтронов.

Наиболее близким к заявляемому по типу применяемых нейтронно-чувствительных конструктивных сенсорных элементов устройств является сцинтилляционный детектор нейтронов на основе пластика и ⁶Li-силикатного стекла (Пат. 2143711 РФ). Известный детектор содержит датчик-сцинтиблок и блок электронной обработки сигналов. В состав датчика-сцинтиблока входят помещенные в единый корпус фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) и три параллельно-последовательно соединенных сцинтиллятора: 1 – входной нейтронный сцинтиллятор, выполненный из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородсодержащего вещества на основе пластмассы (CH)_n или стирбена (сцинтиллятор с колодцем), играющий одновременно роль входного замедлителя быстрых нейтронов до тепловых энергий; 2 – размещенный в колодце входного сцинтиллятора сцинтилляционный кристалл NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительный к гамма-излучению; 3 – чувствительный к тепловым нейтро-

нам внутренний сцинтиллятор на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -содержащего силикатного стекла. Блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от двух нейтронно-чувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl. Однако известный детектор по пат. 2143711 РФ имеет целый ряд недостатков из-за сложности конструкции:

- эффективность фотосбора сигналов от быстрых нейтронов, возникающих в пластике $(\text{CH})_n$, невысока из-за того, что, во-первых, промежуточный сцинтиллятор-кристалл NaI:Tl находится в непрозрачном металлическом корпусе и экранирует часть светового потока, возникающего в пластике от быстрых нейтронов, а во-вторых, вследствие того, что излучение быстрого пластикового сцинтиллятора не непосредственно попадает на фотоприемник, а поступает на него через стекло и частично поглощается в этом стекле, имеющем границу пропускания 350 – 380 нм, в результате чего может быть потеряно до 32 – 43 % полезной информации;
- невозможность применения в датчике-сцинтиблоке компактных фотоприемников на основе фотодиодных устройств, в частности, PIN-фотодиодов или многоканальных фотоэлектронных умножителей для обработки световых сцинтилляций, возникающих в пластике и в ${}^6\text{Li}$ -содержащем силикатном стекле, используемых в качестве сцинтилляционных сенсорных нейтронно-чувствительных материалов сцинтиблока;
- пониженная стойкость к ударным нагрузкам, поскольку детектор содержит сцинтилляционный кристалл NaI:Tl, отличающийся высокой гигроскопичностью, что повышает требования к герметизации.

Таким образом, известный детектор, хотя и позволяет обнаруживать и регистрировать как быстрые, так и тепловые нейтроны, не может обеспечить их эффективную регистрацию с помощью компактных фотодиодных устройств или многоканальных фотоэлектронных умножителей, поскольку рассчитан на работу в сочетании с обычными однооконными, т. е. одноканальными фотоэлектронными умножителями в качестве фотоприемников.

Задачей изобретения является повышение эффективности регистрации как быстрых, так и тепловых нейтронов с возможностью использования в качестве фоторегистраторов компактных фотодиодных устройств или многоканальных фотоэлектронных умножителей. Предлагаемое устройство – сцинтилляционный детектор нейтронов – решает эту задачу. Это достигается за счет того, что сцинтилляционный детектор нейтронов, содержащий датчик-сцинтиблок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор для регистрации быстрых нейтронов, стеклянный сцинтиллятор на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла для регистрации тепловых нейтронов, светоотражающее зеркало и фотоприемное устройство в виде фотодиодного регистратора или многопиксельного (многоканального) фотоумножителя; и блок электронной обработки сигналов, имеет пластиковый сцинтиллятор, выполненный в виде призмы или цилиндра со светоотражающим покрытием по всей внешней боковой поверхности, и сцинтиллятор из ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла с церием, выполненный в виде стекловолокон, размещенных в продольных внутренних каналах пластикового сцинтиллятора.

Варианты блок-схем заявляемого устройства приведены на фиг. 1 и фиг. 2. Предлагаемое устройство состоит из датчика-сцинтиблока и блока электронной обработки сигналов. Датчик-сцинтиблок в едином корпусе 1 содержит пластиковый сцинтиллятор 2 и стекловолоконные 3 сцинтилляторы, светоотражающее зеркало 4 и фотоприемник 5. Пластиковый сцинтиллятор 2 выполнен в виде призмы (например, параллелепипеда – фиг. 1) или цилиндра (фиг. 2) из сцинтиллирующего материала, например, из полистирена с добавками РОРОР (1,4-бис (5-фенилоксазол-2-ил) бензен) и РРО (2,5-дифенилоксазол) или

другого пластикового сцинтиллятора с синим или ультрафиолетовым спектром свечения. Внешняя боковая поверхность пластикового материала покрыта светоотражающей пленкой (на чертеже не показана). Внутри пластиковый сцинтиллятор имеет продольные (по всей длине) каналы (от одного до 16) диаметром 1,8–2 мм, расположенные вблизи центра. Внутри этих каналов располагаются волоконные сцинтиллирующие световоды 3 диаметром 1,5 – 1,8 мм из ${}^6\text{Li}$ -содержащего силикатного стекла, активированного церием.

Длина этих волокон превышает длину пластикового сцинтиллятора. Концы волокон, выходящие с одной стороны пластикового сцинтиллятора, собираются в единый жгут, их полированные торцы соединятся со светоотражающим зеркалом 4. Концы волокон, выходящие с другой стороны пластикового сцинтиллятора, также собираются в единый жгут и соединяются (через оптический контакт) с фотоприемником 5. Фотоприемник представляет собой фоторегистрирующее устройство в виде или фотодиодного регистратора (например, PIN-фотодиода), или многопиксельного фотоэлектронного умножителя, или микроканальной пластины и т. д., предназначенное для регистрации сцинтилляций, возникающих в пластиковом сцинтилляторе и сцинтиллирующем стекловолокне сцинтиблоков. Электрические сигналы с фотоприемника анализируются в блоке 6 электронной обработки сигналов.

Устройство работает следующим образом. Быстрые нейтроны первичного спектра регистрируемого поля излучения, попадая в датчик-сцинтиблок 1, активно взаимодействуют с веществом пластикового сцинтиллятора 2. Рассеиваясь на ядрах водорода, они вызывают появление быстрых протонов – ядер отдачи водорода, входящего в состав пластика. Ядра отдачи водорода вызывают сцинтилляции в пластике. Сцинтилляции пластика передаются по светособирающим, в том числе и с помощью зеркал, и светосдвигающим стекловолоконкам 3 в фотоприемник 5, где они преобразуются в электрические сигналы, которые затем поступают в блок 6 на обработку. Кроме того, быстрые нейтроны, проходя через пластик, рассеиваясь на ядрах водорода и вызывая сцинтилляции, замедляются, достигая тепловых энергий на глубине расположения стекловолокон 3 в каналах (залегающих на глубине 3 – 5 мм и более от поверхности). Затем эти замедленные и ставшие тепловыми нейтроны (а также тепловые нейтроны первичного спектра регистрируемого поля излучений) попадают в стеклянные волоконные сцинтилляторы 3, в которых они взаимодействуют с входящими в состав стекла ядрами ${}^6\text{Li}$ по реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha)T$ с выходом альфа-частиц, которые вызывают свечение входящих в состав стекла ионов церия в виде световых сцинтилляций с длиной волны $\sim 380 - 450$ нм и длительностью 60 – 80 нс. Сцинтилляции от тепловых нейтронов также передаются по волокнам 3 (в том числе отраженные от световозвращающего зеркала 4) в фотоприемник 5, где они преобразуются в электрические сигналы, которые затем поступают в блок 6 на обработку.

Таким образом, стекловолоконка 3 выполняют функции сцинтилляторов-световодов при регистрации тепловых нейтронов и функции световодов, собирающих свечение от пластика, при регистрации быстрых нейтронов, а пластиковый сцинтиллятор 2 играет роль как сцинтиллятора для регистрации быстрых нейтронов, так и роль замедлителя быстрых нейтронов до тепловых энергий. Кроме того, пластиковый сцинтиллятор обеспечивает создание нейтронной «бани» – накопителя тепловых нейтронов, что увеличивает эффективность регистрации нейтронов стеклянными ${}^6\text{Li}$ -содержащими сцинтилляторами.

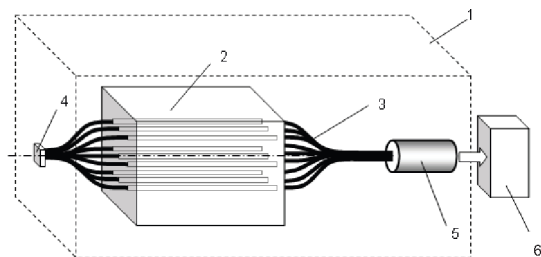
Для повышения чувствительности предлагаемое устройство может содержать несколько (от десятков до тысяч) предлагаемых датчиков-сцинтиблоков. При этом блоки фотоприемных устройств и электронной обработки сигналов могут быть унифицированы для оптимальной обработки информации от объемно-волоконных сцинтиблоков.

Поскольку длительность сцинтилляций в пластике (3–8 нс) много меньше длительности сцинтилляций в стекловолокнах (60 – 80 нс), предлагаемый сцинтилляционный детектор нейтронов имеет достаточно высокую загрузочную способность.

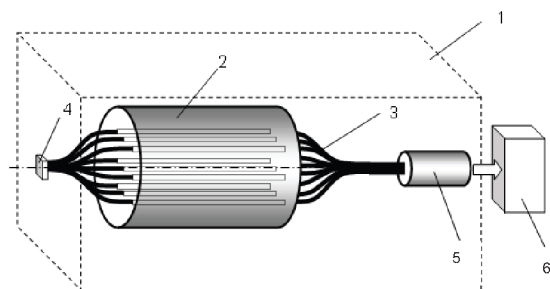
Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного детектора является возможность его применения и для регистрации гамма-излучения, вызывающего сцинтилляции как в пластике, так и в стекловолокнах. При регистрации гамма-излучения предлагаемый детектор может работать в спектрометрическом режиме.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор нейтронов, содержащий датчик-сцинтиллок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор для регистрации быстрых нейтронов, стеклянный сцинтиллятор на основе активированного церием ^6Li -силикатного стекла для регистрации тепловых нейтронов, светоотражающее зеркало и фотоприемное устройство в виде фотодиодного регистратора или многоканального фотоумножителя; и блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что пластиковый сцинтиллятор выполнен в виде призмы или цилиндра со светоотражающим покрытием по всей внешней боковой поверхности, а сцинтиллятор из ^6Li -силикатного стекла с церием выполнен в виде стекловолокон, размещенных в продольных внутренних каналах пластикового сцинтиллятора.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент № 2303276 РФ. Способ термохимической обработки рабочего вещества термолюминесцентного детектора на основе кристаллов оксида бериллия / А. В. Кружалов, С. В. Горбунов, В. Ю. Иванов, И. И. Мильман, И. Н. Огородников, Д. С. Таусенев, Б. В. Шульгин. Заявл. 06.05.2006; опубл. 20.07.2007. Бюл. №20.

Реферат

Применение: для создания систем радиационного и радиоэкологического мониторинга селитебных зон, для решения задач индивидуальной и технической дозиметрии, задач трансграничного радиационного мониторинга с целью предотвращения акций ядерного терроризма и с целью обеспечения программы нераспространения ядерного оружия. Сущность: термообработка кристаллов BeO при повышенной температуре в герметичном запаянном молибденовом контейнере в парах бериллия при давлении паров бериллия в несколько килопаскалей, причем для термохимической обработки используют активированные кристаллы BeO:Na, а их термохимическую обработку ведут в герметичном контейнере при температуре 1920 – 1970°C при давлении паров бериллия 2,6–2,7 кПа, в течение 2 – 3 часов с последующим быстрым охлаждением. Технический результат: снижение числа пиков ТСЛ, сокращение времени считывания дозиметрической информации и повышение чувствительности ТЛ-детектора

Описание изобретения

Изобретение относится к области термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) фотонного излучения рентгеновского и гамма-диапазонов, а именно к способам приготовления рабочих веществ термолюминесцентных детекторов. Оно может быть использовано для создания систем радиационного и радиоэкологического мониторинга селитебных зон, для решения задач индивидуальной и технической дозиметрии, задач трансграничного радиационного мониторинга с целью предотвращения акций ядерного терроризма и с целью обеспечения программы нераспространения ядерного оружия.

Одним из перспективных рабочих веществ для твердотельной термолюминесцентной дозиметрии рентгеновского и гамма-излучения является оксид бериллия BeO, имеющий низкий эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}} = 7,13$ (всего на 4 % отличающийся от $Z_{\text{эф}}$ биологической ткани, равного 7,42). Последнее обеспечивает метрологическую чистоту ТЛ-детекторов на основе BeO при их использовании в персональной дозиметрии.

Известно рабочее вещество и способ термохимической обработки рабочего вещества для ТЛ-детектора ионизирующих излучений на основе оксида бериллия (Заявки 48-10105 и 48-10435 Японии). В известном способе в состав рабочего вещества на основе оксида бериллия вводят примеси Li, Na, Mg, Al, Zn, P, W, Y и др., а само рабочее вещество на основе BeO нагревают и остекловывают, а затем используют в виде таблеток со стеклянной оболочкой по наружной поверхности таблеток. Однако известное рабочее вещество для ТЛД имеет множество пиков термостимулированной люминесценции (ТСЛ) в области 180 – 185, 235 – 240, 305 – 310 и 320 – 330°C, что затрудняет считывание и увеличивает время считывания дозиметрической информации, дестабилизирует фединг, снижает чувствительность рабочего вещества ТЛД на основе BeO и увеличивает время готовности считывателя к очередному сеансу считывания дозиметрической информации.

Известен способ приготовления и использования рабочего вещества для термолюминесцентного детектора ионизирующих излучений в виде монокристаллов BeO:Li,Na (Cooke D. W., Jahan M. S., Alexander C., Shulgin B. V. Low Temperature Thermoluminescence studies of BeO single crystals // J. Appl. Phys. 1985. Vol. 58, № 6. P. 2302 – 2307). Однако для известного рабочего вещества ТЛД на основе кристаллов BeO:Li,Na

имеется множество пиков ТСЛ при температурах 40, 80 – 85, 170 – 180 и 205 – 225 К, а также при температурах выше комнатной. Это затрудняет считывание дозиметрической информации, дестабилизирует фединг и снижает чувствительность рабочего вещества ТЛД на основе BeO.

Известны рабочие вещества на основе кристаллов BeO и их термолюминесцентные свойства (Kruzhalov A. V., Shulgin B. V. Beryllium Ox/de. Глава в книге «Luminescence and Related Properties of II-VI Semiconductors / Editors D. R. Vij and N. Singh. Nova Science Publishers, Inc. Commack, NY, 1998. P. 341 – 362). Известные кривые ТСЛ для кристаллов BeO характеризуются наличием 9 пиков. Пики ТСЛ, обусловленные центрами захвата, расположены при температурах 100, 160, 300 (27°C), 450 (177°C), 510 (237°C), 580 (307°C), 600 (327°C), 620 (347°C) и 680 К (407°C). Наличие большого числа пиков ТСЛ затрудняет организацию считывания дозиметрической информации, требует нагрева до высокой температуры 450 – 500°C, дестабилизирует фединг, снижает чувствительность рабочего вещества ТЛД детектора и увеличивает время готовности считывания к очередному сеансу снятия дозиметрической информации.

Из всех известных способов термохимической обработки кристаллов на основе BeO наиболее близким к заявляемому является способ аддитивно-химического окрашивания (F-центр в облученных и аддитивно-окрашенных кристаллах BeO / А. В. Кружалов, С. В. Горбунов, Б. В. Шульгин, В. А. Маслов // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10, вып. 24. С. 1503–1507). В известном способе образцы, в виде кристаллов BeO при термохимической обработке помещали в верхнюю часть специально изготовленного молибденового контейнера так, чтобы они не контактировали с расплавом бериллия ($T_{\text{плав}} = 1285^\circ\text{C}$), размещенного изначально в контейнер в виде металлической стружки, расплавом, находящимся в нижней части контейнера. Герметизацию контейнера осуществляли с помощью аргонодуговой сварки. Термохимическую обработку проводили в вакуумной печи при температуре 1900°C. Кристаллы BeO при этом находились в парах бериллия. При этом давление паров бериллия в контейнере составляло ~ 2,5 кПа. После термохимической обработки образцы BeO быстро охлаждали для предотвращения создания агрегатных центров. Известный способ термохимической обработки кристаллов BeO проводился с целью аддитивного окрашивания кристаллов BeO. Термолюминесценция кристаллов BeO, подвергнутых термохимической обработке, в известной работе А. В. Кружалова, С. В. Горбунова, Б. В. Шульгина, В. А. Маслова не рассматривалась.

Задачей изобретения является разработка способа термохимической обработки рабочего вещества для термолюминесцентного детектора на основе кристаллов оксида бериллия, снижающего число пиков ТСЛ, упрощающего режим считывания, снижающего время считывания дозиметрической информации и повышающего чувствительность ТЛ-детектора. Эта задача решалась за счет того, что в качестве рабочих веществ для ТЛД детектора на основе оксида бериллия используют активированные кристаллы BeO:Na, термохимическую обработку которых ведут в герметичном запаянном молибденовом контейнере в парах бериллия при температуре 1920 – 1970°C при давлении паров бериллия 2,6–2,7 кПа, в течение 2 – 3 часов с последующим быстрым охлаждением.

Сущность изобретения заключается в следующем. Кристаллы BeO:Na помещают в верхнюю часть молибденового контейнера так, чтобы они не соприкасались ни с бериллиевой стружкой, находящейся в нижней части контейнера, ни с ее расплавом, когда температура контейнера превысит 1285 – 1290°C. Контейнер герметизируют с помощью аргоно-дуговой сварки и помещают в печь. Термохимическую обработку ведут в вакуумной печи при температуре 1920 – 1970°C при давлении паров бериллия, окутывающих и пропитывающих кристаллы BeO:Na, на уровне 2,6–2,7 кПа в течение 2 – 3 часов. После такой термохимической обработки кристаллов BeO:Na печь выключают и кристаллы принудительно охлаждают на воздухе с высокой скоростью.

Термохимическая обработка рабочего вещества для термолюминесцентного детектора на основе кристаллов оксида бериллия в парах бериллия при 1920 – 1970°C в течение 2 – 3 часов приводит к тому, что число центров захвата, ответственных за пики ТСЛ, образующихся в кристаллах BeO при такой термообработке резко сокращается. Вместо нескольких пиков ТСЛ при температуре выше комнатной наблюдается один основной пик при 250°C и слабый пик ТСЛ при 203°C. Это облегчает считывание и скорость обработки дозиметрической информации поскольку не требуется нагрев кристалла в широком диапазоне температур: теперь считыватель настроен на один пик, это обеспечивает стабилизацию фединга из-за отсутствия перезаквата носителей заряда на различных уровнях захвата (из-за уменьшения вероятности эффекта Пула-Френкеля), снижает потери дозиметрической информации и соответственно увеличивает чувствительность детектора.

Способ иллюстрируется следующими примерами выполнения.

Пример 1. Кристаллы активированного оксида бериллия BeO:Na помещают внутрь молибденового контейнера. Их располагают в верхней части контейнера. В нижней части контейнера располагают бериллиевую стружку, в парах которой после расплава бериллиевой стружки «купаются» кристаллы BeO:Na. Для обеспечения необходимой термохимической обработки кристаллов BeO:Na контейнер герметизируют с помощью аргоно-дуговой сварки и помещают в вакуумную печь. Режим термохимической обработки включает в себя выдержку контейнера с кристаллами BeO:Na при температуре 1920°C в течение 2 часов. Расчетное давление паров бериллия при этом составляет 2,6 кПа. Затем кристаллы BeO:Na быстро принудительно охлаждают на воздухе. После остывания кристаллы BeO:Na, прошедшие вышеописанную термохимическую обработку готовы к использованию в качестве рабочих веществ для ТЛ-дозиметрии.

Облучение рабочих веществ ТЛД на основе кристаллов BeO:Na проводилось излучением $\text{Sr}^{90}/\text{Y}^{90}$ -источником с мощностью дозы в месте расположения детектора 10 мГр/мин. Каждый кристалл облучался на протяжении 10 минут. После облучения снималась кривая ТСЛ при нагреве образца до температуры 560°C. Параллельно такой же процедуре подвергался образец BeO:Na, не прошедший термохимической обработки.

Кривые термовысвечивания (КТВ) измерялись по стандартной методике на экспериментальной установке, с компьютерным регулированием нагрева образцов. Применялся в качестве фотоприемника фотоэлектронный умножитель ФЭУ-142, спектральная чувствительность которого соответствует спектрам термолюминесценции исследуемых образцов.

На фиг. 1 представлена кривая термовысвечивания образца BeO:Na при времени облучения 10 минут. Как видно, кривая термовысвечивания необработанного образца BeO:Na имеет сложный состав. Трудно выделить основной оптимальный дозиметрический пик. Для снятия дозиметрической информации требуется нагрев до 450 – 500°C и обработка пиков ТСЛ при 264, 331 и 411°C, что увеличивает фединг и снижает чувствительность ТЛД, а также удлинняет процесс считывания и время восстановления считывателя до готовности обработки следующего образца рабочего вещества ТЛД. При увеличении времени облучения интенсивность пиков возрастает линейно.

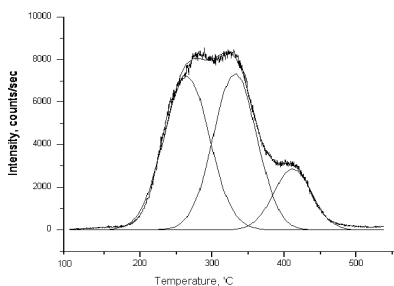
На фиг. 2 представлена кривая ТСЛ аддитивно-окрашенного образца BeO:Na при времени облучения 10 минут. Как видно, термохимическое окрашивание образцов существенно изменяет ситуацию. Кривая термовысвечивания аддитивно-окрашенного в парах бериллия кристалла BeO:Na характеризуется более простым видом (Фиг. 2). Основная светосумма сосредоточена в пределах хорошо выраженного узкого пика ТСЛ при 250°C полушириной всего 57°C. Интенсивность этого пика линейно возрастает с увеличением дозы 10^{-2} –100 мГр/мин.

Пример 2. Кристаллы оксида бериллия $\text{BeO}:\text{Na}$ подвергают термохимической обработке ЕС использованием тех же самых предварительных технологических процедур, описанных в примере 1. Однако температуру печи поддерживают на уровне 1970°C и ведут термохимическую обработку в течение 3 часов. Расчетное давление паров бериллия при этом достигает 2,7 кПа. Кривая ТСЛ для рабочего вещества ТЛД на основе кристаллов $\text{BeO}:\text{Na}$, прошедшего термохимическую обработку, имеет такой же вид, что и кривая ТСЛ на фиг. 2. Как видно для образцов прошедших вышеописанную термохимическую обработку характерен один основной пик ТСЛ при 250°C . Не требуется разогрев рабочего вещества до $450 - 500^\circ\text{C}$, его достаточно разогреть до 300°C , чтобы снять всю дозиметрическую информацию. Это обеспечивает стабильность фединга, увеличение скорости обработки дозиметрической информации с помощью считывателя и уменьшает время готовности считывателя к работе после очередного сеанса снятия дозиметрической информации.

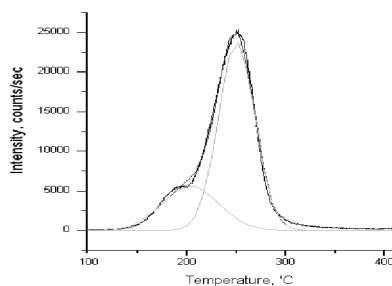
Примеры, связанные с более высокой температурой и большим временем термохимической обработки рабочих веществ на основе кристаллов $\text{BeO}:\text{Na}$, показывают их неоптимальность, дополнительную опасность и лишнюю затратность, связанную с режимами повышенного давления. Примеры, связанные с более низкой температурой и меньшим временем термохимической обработки рабочих веществ на основе кристаллов $\text{BeO}:\text{Na}$, также показывают их недостаточную эффективность: снижение числа пиков ТСЛ не наблюдается.

Формула изобретения

Способ термохимической обработки рабочего вещества для термолюминесцентного детектора на основе кристаллов оксида бериллия, включающий термообработку кристаллов BeO при повышенной температуре в герметичном запаянном молибденовом контейнере в парах бериллия при давлении паров бериллия в несколько килопаскалей, отличающийся тем, что для термохимической обработки используют активированные кристаллы $\text{BeO}:\text{Na}$, а их термохимическую обработку ведут в герметичном контейнере при температуре $1920 - 1970^\circ\text{C}$ при давлении паров бериллия 2,6–2,7 кПа, в течение 2 – 3 часов с последующим быстрым охлаждением.



Фиг. 1



Фиг. 2

Реферат

Использование: дозиметрия ионизирующих излучений, особенно одновременная регистрация смешанного излучения с выделением каждого из компонентов, даже если уровень одного из видов излучения близок к уровню фона. **Сущность:** сенсорный сцинтиблок предлагаемого сцинтилляционного детектора включает два сцинтиллятора, выполненных в виде двух соприкасающихся сцинтиллирующих шаров, частично покрытых светоотражающей пленкой и помещенных в единый корпус, внутренняя поверхность которого содержит светопоглощающее покрытие, а фотоприемное устройство сцинтиблока включает два фотоприемника (например, два фотоэлектронных умножителя или два фотодиода), расположенных под углом 90° относительно друг друга так, что один фотоприемник обеспечивает регистрацию сцинтилляций с обоих шаровидных сцинтилляторов, а второй фотоприемник – только с одного сцинтиллятора.

Технический результат: повышение чувствительности детектора и обеспечение определения вклада каждого из компонентов смешанных излучений в общую дозу даже в случае, когда уровень одного из видов излучения близок к уровню фона.

Описание изобретения

Изобретение относится к области дозиметрии ионизирующих излучений. Оно пригодно для использования в системах радиационного мониторинга объектов и территорий, в системах трансграничного таможенного контроля для регистрации бета-, гамма- и нейтронного излучений, особо пригодно для случаев одновременной регистрации смешанного излучения с выделением каждого из компонентов, даже если уровень одного из видов излучения близок к уровню фона.

Известен сцинтилляционный детектор нескольких излучений (Заявка 0311503 ЕВП (ЕР)). Детектор имеет сцинтиблок, который включает два сцинтиллятора с зеленым и красным свечением, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой – к низкоэнергетическому, а также оптоэлектронный блок регистрации, выделяющий сигналы от датчиков с помощью светофильтров (зеленого и красного) и регистрирующий их с помощью фотодиодов. Однако такой детектор имеет ограниченное применение. Он не пригоден для одновременной регистрации двух типов излучений в случае, когда, уровень одного из видов излучения близок к уровню фона. Например, он не пригоден для одновременной регистрации нейтронного и гамма-излучения в случае, когда уровень нейтронного или гамма-излучения близок к уровню фона. Это обусловлено тем, что любой фотоприемник (а в известной заявке – это фотодиод) имеет низкую чувствительность при малых интенсивностях регистрируемых световых вспышек – сцинтилляций.

Известен сцинтилляционный детектор двух видов излучений: нейтронного и гамма-излучения (Пат. 4482808 США). Детектор содержит сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако любой однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации нейтронного и гамма-излучений, в случае, когда уровень нейтронного или гамма-излучения близок к уровню фона. Это обусловлено тем, что любой фотоприемник имеет низкую чувствительность при низком уровне входного (светового) сигнала на начальном участке его рабочей характеристики. Таким образом, известный сцинтилляционный де-

тектор обладает низкой чувствительностью к смешанному излучению в случае, когда уровень одного из видов излучения близок к уровню фона.

Известен сцинтилляционный детектор двух видов излучений: бета- и гамма-излучения (Пат. 3382368 США), включающий сцинтилляционный кристалл BaF_2 (плотность $4,88 \text{ г/см}^3$) и фотоэлектронный умножитель. Детектор имеет малую длительность сцинтилляций ($< 50 \text{ нс}$). Максимум спектра свечения кристалла BaF_2 , используемого в виде цилиндра, лежит в ультрафиолетовой области спектра, $\lambda = 220 \text{ нм}$. Известный сцинтилляционный детектор двух видов излучения (бета- и гамма-излучения) регистрирует оба типа излучения одновременно, однако, он не позволяет разделять компоненты излучения и определять вклад каждого из видов излучений в общую дозу.

Наиболее близким к заявляемому является сцинтилляционный детектор нескольких видов излучений, точнее детектор, пригодный для регистрации быстрых и тепловых нейтронов или нейтронов и гамма-излучения (Пат. 2259573 РФ). Известный детектор содержит сцинтиллок, включающий два соприкасающихся сцинтиллятора: сцинтиллятор на основе органического водородсодержащего пластика, чувствительный к быстрым нейтронам, и стеклянный сцинтиллятор на основе ^6Li -силикатного стекла, чувствительный к тепловым нейтронам и гамма-излучению, и фотоприемное устройство, а также блок электронной обработки сигналов. Сцинтилляторы выполнены в виде элементов с параллельными соприкасающимися гранями, обеспечивающими оптический контакт, причем органический сцинтиллятор выполнен в виде клина, а стеклянный в виде параллелепипеда, образуя вместе с фотоэлектронным умножителем единый сенсорный сцинтиллок, в котором, фотоэлектронный умножитель установлен с торца пластикового сцинтиллятора. Однако известный детектор при одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов не пригоден для определения вкладов каждого из них в общую дозу излучения, поскольку блок обработки сигналов работает в счетном режиме. В случае регистрации нейтронного и гамма-излучения, известный детектор также не позволяет выделять компоненты излучений и их вклад в общую дозу, поскольку детектор работает в счетном режиме, и сигналы, получаемые от гамма-квантов и нейтронов не различаются.

Задачей настоящего изобретения является разработка сцинтилляционного детектора смешанных излучений с повышенной чувствительностью, обеспечивающей определение вклада каждого из компонентов смешанных излучений в общую дозу даже в случае, когда уровень одного из видов излучения близок к уровню фона.

Это достигается за счет того, что сенсорный сцинтиллок предлагаемого сцинтилляционного детектора включает два сцинтиллятора, выполненных в виде двух соприкасающихся сцинтиллирующих шаров, частично покрытых светоотражающей пленкой и помещенных в единый корпус, внутренняя поверхность которого содержит светопоглощающее покрытие, а фотоприемное устройство сцинтиблока включает два фотоприемника (например, два фотоэлектронных умножителя или два фотодиода), расположенных под углом 90° относительно друг друга так, что один фотоприемник обеспечивает регистрацию сцинтилляций с обоих шаровидных сцинтилляторов, а второй фотоприемник – только с одного сцинтиллятора.

Предлагаемое устройство (фиг. 1) содержит два сцинтиллятора 1 и 2 шаровидной формы, покрытых частично светоотражающей пленкой 3 и 4, помещенные в единый корпус 5 со светопоглощающим покрытием 6 изнутри. Сцинтиллятор 2 через стыковочные элементы 7, обеспечивающими оптический контакт, сопряжен с двумя фотоприемниками 8 и 9, работающими в токовом режиме, сигналы с которых поступают на блок обработки сигналов 10. Система оптических отражающих и поглощающих покрытий обеспечивает ход лучей при светосборе согласно схеме, представленной на фиг. 2.

Устройство работает следующим образом. Смешанное ионизирующее излучение, попадая в шаровидные сцинтилляторы 1 и 2, вызывает в них сцинтилляции, световой поток которых пропорционален плотности потоков компонентов ионизирующего излу-

чения w_1 и w_2 . Каждый из сцинтилляторов характеризуется своими коэффициентами α_{ij} преобразования потоков ионизирующих излучений в световые потоки:

Сцинтиллятор	Плотность потока излучения	
	w_1	w_2
1	α_{11}	α_{21}
2	α_{12}	α_{22}

За счет системы оптических отражающих и поглощающих покрытий и шаровидной формы сцинтилляторов только часть оптического излучения, созданного ионизирующим излучением в них, может быть собрана на входных окнах фотоприемников 8 и 9, коэффициент геометрического светосбора на которых равен β_{ij} :

Фотоприемник	Сцинтиллятор	
	1	2
8	β_{18}	β_{28}
9	β_{19}	β_{29}

Особенностью предлагаемого устройства является то, что сцинтилляции со сцинтиллятора 2 попадают как в фотоприемник 8, так и в фотоприемник 9, в то время как сцинтилляции со сцинтиллятора 1 не могут оказаться на фотоприемнике 8, т. е. $\beta_{18} = 0$; они попадают только в фотоприемник 9.

Коэффициенты геометрического светосбора сцинтилляций со сцинтиллятора 2 на фотоприемниках 8 и 9 (коэффициенты β_{28} и β_{29}) определяются как отношение площади входного окна фотоприемника (соответственно $S_{\text{ФП8}}$ или $S_{\text{ФП9}}$) к площади поверхности сцинтиллятора $S_{\text{Сц2}}$: $\beta_{28} = S_{\text{ФП8}}/S_{\text{Сц2}}$; $\beta_{29} = S_{\text{ФП9}}/S_{\text{Сц2}}$.

Коэффициент геометрического светосбора сцинтилляций со сцинтиллятора 1 на фотоприемник 9 (коэффициент β_{19}) зависит от коэффициентов преломления сцинтилляторов и приближенно может быть оценен из следующих соображений. Передача света со сцинтиллятора 1 на сцинтиллятор 2 возможна, когда свет подходит изнутри к поверхности сцинтиллятора 1 под углом, не превышающим критическое значение $\varphi_{\text{кр}}$, определяемое законами геометрической оптики: $\varphi_{\text{кр}} = \arcsin(1/n_1)$, где n_1 – коэффициент преломления сцинтиллятора 1. В противном случае происходит полное внутреннее отражение (см. фиг. 2). Свет вышедший из сцинтиллятора 1 фокусируется поверхностью сцинтиллятора 2 на фотоприемнике 9. Можно считать, что между сцинтилляторами существует «окно» контакта, площадь $S_{\text{окно}}$ которого определяется критическим углом $\varphi_{\text{кр}}$ и радиусом r_1 сцинтиллятора 1: $S_{\text{окно}} \approx (\pi/4) r_1^2 \arcsin^2(1/n_1)$. В связи с этим коэффициент β_{19} равен отношению площади «окна» $S_{\text{окно}}$ к площади поверхности второго сцинтиллятора: $\beta_{19} \approx \arcsin^2(1/n_1)/8$. Таким образом, коэффициенты β_{ij} равны:

Фотоприемник	Сцинтиллятор	
	1	2
8	$\beta_{18} = 0$	$\beta_{28} = S_{\text{ФП8}}/S_{\text{Сц2}}$
9	$\beta_{19} \approx \arcsin^2(1/n_1)/8$	$\beta_{29} = S_{\text{ФП9}}/S_{\text{Сц2}}$

Далее фотоприемники 8 и 9 преобразуют световой поток сцинтилляций от сцинтилляторов в электрические токи $I_{\text{ФП9}}$ и $I_{\text{ФП8}}$. Если эффективность преобразования световых потоков в электрический ток фотоприемниками 8 и 9 соответственно равна $\gamma_{\text{ФП1}}$ и $\gamma_{\text{ФП2}}$, то

$$\begin{cases} I_{\text{ФП8}} = \gamma_{\text{ФП8}} [\alpha_{12} w_1 + \alpha_{22} w_2] \\ I_{\text{ФП9}} = \gamma_{\text{ФП9}} [\alpha_{11} w_1 + \alpha_{21} w_2 + \alpha_{12} w_1 + \alpha_{22} w_2] \end{cases}$$

Если применять фотоприемники с одинаковыми параметрами ($\gamma_8 = \gamma_9 = \gamma$ и $S_{\Phi\Pi 8} = S_{\Phi\Pi 9} = S_{\Phi\Pi}$), то

$$\begin{cases} I_{\Phi\Pi 8} = \gamma \left(w_1 \alpha_{12} + w_2 \alpha_{22} \right) \frac{S_{\Phi\Pi}}{S_{\text{Ск2}}}; \\ I_{\Phi\Pi 9} = \gamma \left[\left(w_1 \alpha_{11} + w_2 \alpha_{21} \right) \frac{\arcsin^2(1/n_1)}{8} + \left(w_1 \alpha_{12} + w_2 \alpha_{22} \right) \frac{S_{\Phi\Pi}}{S_{\text{Ск2}}} \right]. \end{cases}$$

Из последнего выражения видно, что сигнал I_2 интенсивнее сигнала I_1 , т. к.

$$I_{\Phi\Pi 9} = I_{\Phi\Pi 8} + \underbrace{\gamma \frac{\arcsin^2(1/n_2)}{8} \left(w_1 \alpha_{11} + w_2 \alpha_{21} \right)}_{>0}$$

Таким образом, предлагаемое устройство будет более чувствительным, чем устройство, в котором раздельно используются два тракта регистрации излучения ($I_{\Phi\Pi 9} > I_{\Phi\Pi 8}$). По величинам токов $I_{\Phi\Pi 9}$ и $I_{\Phi\Pi 8}$ можно определить вклад каждого из компонентов излучения.

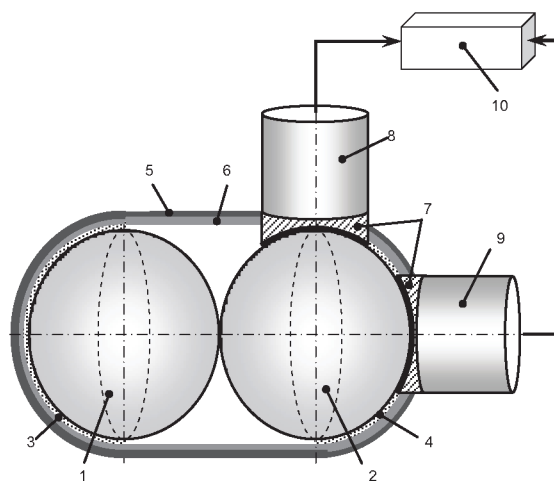
Вариации. Если при этом использовать селективно чувствительные сцинтилляторы, т. е. сцинтилляторы такие, что сцинтиллятор 1 чувствителен только к первому типу излучения ($\alpha_{11} \neq 0$, $\alpha_{21} = 0$), а сцинтиллятор 2 – только ко второму типу излучения ($\alpha_{12} = 0$, $\alpha_{22} \neq 0$), то

$$\begin{cases} I_{\Phi\Pi 8} = \gamma w_2 \alpha_{22} \frac{S_{\Phi\Pi}}{S_{\text{Ск2}}}; \\ I_{\Phi\Pi 9} = \gamma \left[w_1 \alpha_{11} \frac{\arcsin^2(1/n_1)}{8} + w_2 \alpha_{22} \frac{S_{\Phi\Pi}}{S_{\text{Ск2}}} \right]. \end{cases}$$

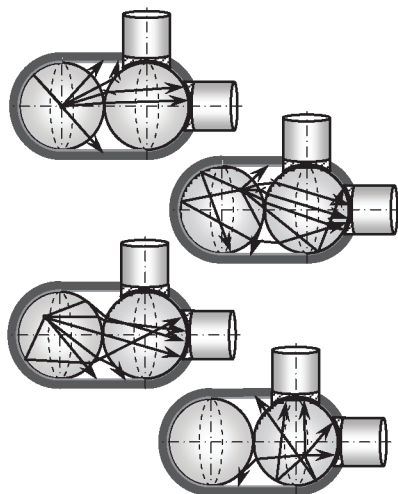
Такой вариант можно использовать для регистрации слабых потоков ионизирующих излучений, например фона нейтронов при гамма-фоне. Пусть сцинтиллятор 1 (например, ВГО) чувствителен к гамма-излучению, а сцинтиллятор 2 (например, ^6Li , Се-стекло) чувствителен к нейтронам. Тогда ток $I_{\Phi\Pi 9}$, вызванный нейтронами, будет находиться не интервале от 0 до I_{max} (как это имеет место для обычных сцинтилляционных детекторов на базе литиевых стекол) а в интервале от $I_{\Phi\Pi 8}$ до $I_{\Phi\Pi 8} + I_{\text{max}}$. В таком устройстве можно избежать влияния темнового тока $I_{\text{темн}}$ ФЭУ на измерения, если $I_{\text{темн}} < I_8$. Более того, в таком устройстве фотоприемник 9 работает в токовом режиме, а не в импульсном, что обеспечивает моментальность определения нейтронного фона.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор, содержащий сцинтиблок, включающий два соприкасающихся сцинтиллятора, фотоприемное устройство, и блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что каждый из соприкасающихся сцинтилляторов выполнен в виде шара и частично покрыт светоотражающим покрытием, оба они размещены в едином корпусе, покрытием внутри светопоглощающим покрытием, а фотоприемное устройство содержит по меньшей мере два фотоприемника, расположенных под углом 90° по отношению друг к другу.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент № 2303798 РФ. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, А. В. Анипко, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, J-M. Fourmigue, C. Pedrini, K. Lebbou, C. Dujardin. Заявл. 10.10.2005; опубл. 27.07.2007. Бюл. №21.

Реферат

Использование: для детектирования быстрых нейтронов и гамма-излучения, в качестве детектора в стационарных и переносных устройствах радиационного контроля.

Сущность: сцинтилляционный детектор содержит, по меньшей мере, один датчик-сцинтиблок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор в форме призмы или цилиндра для регистрации быстрых нейтронов, выполненный, по крайней мере, с одним полым каналом и размещенным в нем волоконным сцинтилляционным световодом, светоотражающее зеркало, фотодиодное фотоприемное устройство и блок электронной обработки сигналов, причем в качестве материала для пластикового сцинтиллятора использован дифенил-1,3,4-оксазол, а волоконный сцинтилляционный световод выполнен из ортогерманата висмута (BGO).

Технический результат: повышение эффективности одновременной регистрации гамма-излучения и быстрых нейтронов при использовании в качестве фоторегистраторов компактных фотодиодных устройств, на основе PIN-фотодиодов.

Описание изобретения

Изобретение относится к области дозиметрии быстрых нейтронов и гамма-излучения. Оно пригодно для использования в стационарных и переносных устройствах радиационного контроля, предназначенных для обнаружения радиоактивных материалов, для решения задач радиационного мониторинга объектов атомной промышленности, для использования в службах атомного надзора, таможенного контроля, для служб дозиметрической и ядерной безопасности атомных электростанций и для служб по предотвращению акций ядерного терроризма. Оно пригодно также для создания терминальных детекторов глобальной сети межрегионального и межгосударственного радиационного мониторинга.

Известен сцинтилляционный детектор (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского физико-технического института, 1990). Датчик детектора представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации быстрых нейтронов. Известный детектор пригоден для работы только с ФЭУ и не может работать в сочетании с фотодиодными фотоприемными устройствами. Однако такой детектор не пригоден для эффективной одновременной регистрации нейтронов и гамма-излучения из-за пониженного эффективного атомного номера пластика.

Известен сцинтилляционный детектор (Пат. 2088952 РФ). Известный детектор содержит датчик-сцинтиблок и блок электронной обработки сигналов. Датчик-сцинтиблок состоит из последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также α -, β -, γ -излучениям, и объемного световода, изготовленного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стилибена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, а также фотоэлектронного умножителя, преобразующего световые вспышки (сцинтилляции) в электрические сигналы. Блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него как от α -, β -, γ -сцинтиллятора $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (длительностью 300 нс), так и от сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов световода (с длительностью сцинтилляций 5 – 7 нс). Однако известный сцинтилляционный детектор не пригоден для работы в сочетании с компактными фотодиодными фотоприемными устройствами. При использовании компактного PIN-фотодиода

он будет эффективно регистрировать только гамма-излучение, эффективность регистрации нейтронов будет понижена из-за низкой чувствительности фотодиодов к УФ или сильному излучению объемного пластикового световода.

Известен сцинтилляционный детектор, пригодный для регистрации заряженных частиц и нейтронов (Taichi Morita. Performance and calibration of wave length Shifting fibers for K2K SciBar detector // Proceedings of the KEK-RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Their Application In Particle and Nuclear Physics. KEK, Tsukuba, Japan, 2003. P. 227–231). Детектор состоит из 15 тысяч пластиковых сцинтиблоков. Каждый сцинтиблок известного детектора содержит, в частности, 16 волоконных фотолюминесцентных светосдвигающих пластиковых световодов, размещенных в продольных каналах пластикового сцинтиллятора для сбора и регистрации фотовспышек в пластике и передачи этой информации на многоканальный мультянодный фотоэлектронный умножитель с последующей обработкой сигналов в блоке обработки информации. Однако известный сцинтилляционный детектор имеет низкую эффективность регистрации гамма-излучения из-за малого эффективного атомного номера пластиковых сцинтиблоков и пластиковых светосдвигающих волокон. Он непригоден для одновременной эффективной регистрации нейтронного и гамма-излучения.

Наиболее близким к заявляемому является сцинтилляционный детектор, пригодный для измерения заряженных частиц, нейтронов и гамма-излучения (Hirokazu Maesaka. The K2K SciBar Detector // Proceedings of the KEK-RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Their Application In Particle and Nuclear Physics. KEK, Tsukuba, Japan, 2003. P. 185 – 198). Детектор состоит из 15000 пластиковых датчиков-сцинтиблоков, выполненных в виде параллелепипедов размерами $2,5 \times 1,3 \times 300$ см³. Каждый сцинтиблок имеет канал диаметром 1,8 мм по всей длине, расположенный в центре блока. По всей длине такого канала располагается волоконный фотолюминесцентный световод из органического материала диаметром 1,5 мм, выполняющий две функции: функцию светосбора (собирает синий свет от вспышек в сцинтиллирующем пластике) и одновременно функцию смещения спектра свечения пластика с синего на зеленый диапазон (за счет стокового сдвига при фотовозбуждении зеленого люминесцентного свечения в волокне синим возбуждающим светом сцинтилляций пластикового блока) для обеспечения лучшего согласования со спектральной чувствительностью фотоприемника. В качестве фотоприемного устройства в известном детекторе используют 64-канальный мультянодный фотоэлектронный умножитель. Однако известный детектор имеет низкую эффективность регистрации гамма-излучения из-за малого эффективного атомного номера пластиковых сцинтиблоков и пластиковых светособирающих и светосдвигающих волокон. Он непригоден для одновременной эффективной регистрации нейтронного и гамма-излучения.

Задачей изобретения является повышение эффективности одновременной регистрации гамма-излучения и быстрых нейтронов при использовании в качестве фоторегистраторов компактных фотодиодных устройств, на основе PIN-фотодиодов.

Предлагаемое устройство – сцинтилляционный детектор – решает эту задачу. Это достигается за счет того, что в сцинтилляционном детекторе, содержащем, по меньшей мере, один сцинтиблок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор для регистрации быстрых нейтронов, выполненный в виде призмы или цилиндра с одним или несколькими полыми каналами и размещенными в них волоконными световодами, светоотражающее зеркало, фотоприемное устройство в виде фотодиодного регистратора, и блока электронной обработки сигналов, в качестве материала для пластикового сцинтиллятора используют органическое вещество дифенил-1,3,4-оксазол с максимумом спектра свечения в области 260 – 290 нм, а волоконные световоды выполняют из тяжелого сцинтиллирующего материала: ортогерманата висмута (BGO), обладающего повышенной чувствительностью к гамма-излучению.

На фиг. 1 представлена схема предлагаемого устройства. Сцинтилляционный детектор состоит из датчика-сцинтиблока 1 и блока электронной обработки сигналов 2. Датчик-сцинтиблок 1 содержит пластиковый сцинтиллятор 3 и волоконные световоды 4, светотражающее зеркало 5 и фотоприемник 6. Пластиковый сцинтиллятор 3 выполнен в виде призмы или цилиндра из дифенил-1,3,4-оксазола – пластика с ультрафиолетовым (УФ) спектром свечения. Внешняя боковая поверхность пластикового сцинтиллятора 3 покрыта светотражающей пленкой (на чертеже не показана). Внутри пластиковый сцинтиллятор 3 имеет продольные (по всей длине) каналы 7 (от одного до 64 штук и более) диаметром 0,04–1,1 мм. Внутри этих каналов располагаются волоконные световоды 4 из сцинтиллирующих волокон ортогерманата висмута (BGO) диаметром 0,03–1,0 мм. Длина этих световодов 4 превышает длину пластикового сцинтиллятора 3. Полированные торцы световодов 4 с одной стороны пластикового сцинтиллятора 3 имеют оптический контакт со светотражающим зеркалом 5. Концы световодов 4, с другой стороны пластикового сцинтиллятора 3 собираются в единый жгут и соединяются (через оптический контакт) с фотоприемным устройством 6. Фотоприемное устройство 6 выполнено в виде фотодиодного регистратора (PIN-фотодиода), и предназначено для регистрации сцинтилляций, возникающих в пластиковом сцинтилляторе 3 и волоконных световодах 4. Электрические сигналы с фотоприемного устройства 6 анализируются в блоке 2 электронной обработки сигналов.

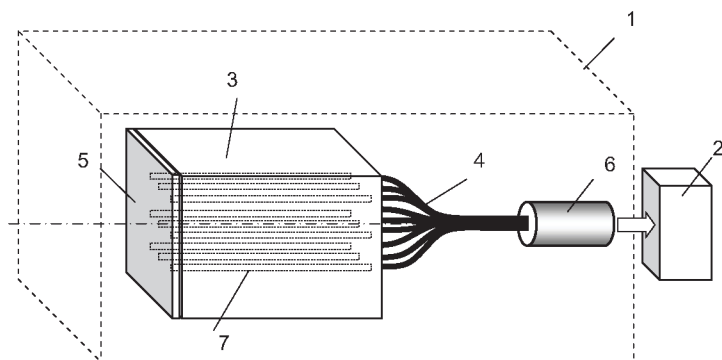
Устройство работает следующим образом. Быстрые нейтроны, попадая в датчик-сцинтиблок 1, активно взаимодействуют с веществом пластикового сцинтиллятора 3, вызывают появление быстрых протонов – ядер отдачи водорода, входящего в состав пластика. Ядра отдачи водорода вызывают в пластике дифенил-1,3,4-оксазоле световые вспышки-сцинтилляции УФ-диапазона с длиной волны 282 нм и длительностью несколько наносекунд). УФ световые вспышки пластика (282 нм) собираются волоконными световодами 4, изготовленными из ортогерманата висмута, возбуждают в волокнах характерное для BGO синее-зеленое свечение (480 – 520 нм), которое, в конечном, счете и регистрируется фотоприемным устройством 6, где они преобразуются в электрические сигналы, которые затем поступают в блок 2 на обработку. Гамма-излучение регистрируется с помощью сцинтиллирующих волоконных световодов 4, выполненных из BGO и обладающих высокой эффективностью регистрации гамма-излучения (благодаря высокому эффективному атомному номеру BGO). Сцинтилляции, вызванные гамма-излучением в BGO, имеют длину волны 480 – 520 нм и длительность 300 нс. Они передаются по волоконным световодам 4 (в том числе отраженные от световозвращающего зеркала 5) в фотоприемное устройство 6, где они преобразуются в электрические сигналы, которые затем поступают в блок 2 на обработку.

Таким образом, при регистрации нейтронов и гамма-излучения волоконные световоды 4 две роли. Во-первых, при регистрации нейтронов они играют сместителей спектра: УФ-свечение пластикового сцинтиллятора 3 с длиной волны 282 нм, несущие информацию о зарегистрированных быстрых нейтронах, эффективно возбуждает синее-зеленое свечение (с длиной волны 480 – 520 нм) волоконных BGO световодов 4. Во-вторых, при регистрации гамма-излучения волоконные световоды 4 играют дополнительно роль эффективных сцинтилляционных чувствительных элементов (сенсоров-датчиков).

Для повышения чувствительности предлагаемое устройство может содержать несколько (десятков-сотен и даже тысяч) датчиков-сцинтиблоков 1. Количество фотоприемных устройств и блоков электронной обработки сигналов в зависимости от количества датчиков-сцинтиблоков может быть оптимизировано для обеспечения оптимальной по эффективности и стоимости обработки информации.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор, содержащий, по меньшей мере, один датчик-сцинтиблок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор в форме призмы или цилиндра для регистрации быстрых нейтронов, выполненный, по крайней мере, с одним полым каналом и размещенным в нем волоконным сцинтилляционным световодом, светоотражающее зеркало, фотодиодное фотоприемное устройство и блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что в качестве материала для пластикового сцинтиллятора использован дифенил-1,3,4-оксазол, а волоконный сцинтилляционный световод выполнен из ортогерманата висмута (BGO).



Фиг. 1

Патент № 2308056 РФ. Сцинтилляционный детектор / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, С. В. Маркс, А. В. Анипко, С. Б. Смирнов, Н. С. Мезенина. Заявл. 09.03.2006; опубл. 10.10.2007. Бюл. №28.

Реферат

Применение: в системах детектирования нейтронов и нейтрино. Сущность: Детектор, содержащий по крайней мере один датчик, состоящий из пластикового сцинтиллятора на основе органического водородсодержащего материала, чувствительного к нейтронам и нейтрино, светособирающего волоконного световода, фотоприемное устройство и блок обработки сигналов, причем пластиковый сцинтиллятор выполнен в форме цилиндра, покрытого светоотражающей пленкой, в центре которого имеется по- лый канал с размещенным в нем светособирающим волоконным световодом. Техниче- ский результат: повышение чувствительности к нейтронам и нейтрино.

Описание изобретения

Изобретение относится к области ядерной физики, астрофизики и физики высо- ких энергий, конкретно к области технологии регистрации нейтрино и антинейтрино (далее нейтрино), включая солнечные, космические, реакторные нейтрино, нейтрино, получаемые с помощью ускорителей; оно пригодно для создания нейтринных телеско- пов, нейтронных и нейтринных детекторов и детекторных комплексов наземного и кос- мического базирования, предназначенных для удаленного, включая транsezемное, обна- ружения стационарных и мобильных ядерных реакторных и ускорительных установок, и может быть использовано в системах производственного и таможенного контроля за нейтронными источниками и делящимися радиоактивными материалами, а также в си- стемах радиационного мониторинга радиационного фона Земли.

Быстрые нейтроны эффективно регистрируются с помощью сцинтилляторов, со- держащих водород. Сцинтилляции возникают при рассеянии нейтронов на ядрах водо- рода. Нейтрино зарегистрировать труднее, чем зарегистрировать нейтроны. Нейтрино $\bar{\nu}$ и антинейтрино $\tilde{\nu}$ обладают огромной проникающей способностью вследствие их чрез- вычайно низкого сечения взаимодействия с большинством ядер элементов. Например, сечение взаимодействия антинейтрино с ядрами водорода (наиболее часто использу- щимися при детектировании в составе большеобъемных жидких или пластиковых сци- нтилляционных детекторов) по реакции



равно $\sigma_{\bar{\nu}_e} = 9.4 \cdot 10^{-44} \text{ см}^2$ (Большой энциклопедический словарь. Физика / Ред. А. М. Прохоров. М. Большая Российская энциклопедия, 1998. 944 с) Нейтрино и анти- нейтрино отличаются своим происхождением: нейтрино рождается в паре с позитроном, а антинейтрино в паре с электроном. Продукты реакции (1) вызывают сцинтилляции в сцинтилляторе, содержащем ядра водорода. Таким образом и для регистрации нейтрино используется сцинтилляционный метод с применением водородосодержащих сцинтил- ляторов.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов (Пат. 2189057 РФ). Детектор со- держит пластиковый сцинтиллятор, (n, α , γ)-конвертор из карбида или нитрида бора, сцинтилляционный кристалл NaI:Tl и фотоприемное устройство. Основным недостат- ком является то, что эффективность светосбора сцинтилляций, возникающих в пласти- ковом сцинтилляторе от быстрых нейтронов, невысока, поскольку пластиковый сци- нтиллятор в известном детекторе соприкасается с фотоприемным устройством не всей плоскостью, а только по периферийному кольцу. Площадь соприкосновения пластиково-

го сцинтиллятора с окном фотоприемного устройства составляет 30 – 40 % от площади окна, поэтому эффективность фотосъема не превышает 30 – 40 % от фотосбора в режиме, когда сцинтиллятор соприкасается с ФЭУ всем своим рабочим торцом. (п.а.γ)-конвертор из карбида или нитрида бора является светонепроницаемым и часть сцинтилляций от пластикового сцинтиллятора в нем теряется. Таким образом, известный детектор нейтронов (Пат. 2189057 РФ) обладает недостаточно высоким уровнем светосбора сцинтилляций и, как следствие, недостаточно высокой чувствительностью к быстрым нейтронам и нейтрину.

Известен сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов на основе пластикового сцинтиллятора и ^6Li -силикатного стекла (Пат. 2143711 РФ). Известный детектор содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. В состав датчика входят помещенные в единый корпус фотоприемное устройство и три параллельно-последовательно соединенных сцинтиллятора: 1) внешний нейтронный сцинтиллятор, выполненный из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородсодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стильбена (сцинтиллятор с колодцем); 2) размещенный в колодце внешнего сцинтиллятора сцинтилляционный кристалл NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительный к гамма-излучению; 3) чувствительный к тепловым нейтронам внутренний сцинтиллятор на основе активированного перием ^6Li -силикатного стекла. Блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от нейтроно-чувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl . Однако для известного детектора эффективность светосбора сцинтилляций от быстрых нейтронов, возникающих во внутреннем пластиковом сцинтилляторе $(\text{CH})_n$, невысока из-за того, что сигналы, во-первых, поступают на фотоприемное устройство только по периферийному кольцу, обеспечивая фотосъем сцинтилляций на уровне до 30 – 40 % вследствие того, что кристалл NaI:Tl находится в непрозрачном корпусе и экранирует часть светового потока, возникающего в пластике, а также, вследствие того, что излучение быстрого пластикового сцинтиллятора не непосредственно попадает на фотоприемное устройство, а поступает на него через внутренний стеклянный сцинтиллятор и частично поглощается в нем. В итоге может быть потеряно до 32 – 43% полезной информации. Таким образом, известный детектор не может обеспечить эффективную регистрацию быстрых нейтронов и нейтрину из-за недостаточно высокого уровня светосбора сцинтилляций.

Известен сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов (Пат. 2259573 РФ) содержащий датчик, включающий сцинтиллятор на основе органического водородсодержащего пластика, чувствительного к быстрым нейтронам и стеклянный сцинтиллятор на основе ^6Li -силикатного стекла, чувствительного к тепловым нейтронам, и фотоприемное устройство, а также блок электронной обработки сигналов, при этом сцинтилляторы датчика выполнены в виде пластин с параллельными соприкасающимися гранями, причем органический сцинтиллятор выполнен в виде клина, а стеклянный в виде параллелепипеда, образуя единый сенсорный сцинтиллятор, снабженный свинцовым коллиматором и размещенный вместе с последним в дополнительном полиэтиленовом пенале-накопителе тепловых нейтронов. Однако при установлении фотоэлектронного умножителя с торца пластикового сцинтиллятора эффективность светосбора сцинтилляций оказывается низкой, что не обеспечивает высокой чувствительности к быстрым нейтронам и нейтрину.

Из всех известных сцинтилляционных детекторов наиболее близким к заявляемому является объемно-волоконный сцинтилляционный детектор нейтронов и нейтрину, называемый авторами Сци-Бар-детектором (Hirokazu Maesaka. The K2K SciBar Detector // Proceedings of the KEK-RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Their Application In Particle and Nuclear Physics. KEK, Tsukuba, Japan, 2003.

P. 185 – 198.; Hasegawa M. Calibration system of the K2K SciBar Detector // Proceedings of the KEK-RCNP International School and Mini-workshop for Scintillating Crystals and Their Application In Particle and Nuclear Physics. KEK, Tsukuba, Japan, 2003. P. 243–248). Известный сцинтилляционный детектор нейтронов и нейтрино содержит 14400 сцинтилляционных блоков в виде параллелепипедов из пластиковых сцинтилляторов и фотоприемное устройство. Каждый сцинтилляционный блок имеет расположенный вдоль его центральной оси продольный канал, в котором размещено светособирающее волокно, играющее одновременно роль сместителя спектра. Сенсором, веществом чувствительным к нейтронам и нейтрино, является пластиковый сцинтиллятор (водородсодержащее вещество на основе полистирена с добавками PPO (1 мас. %) POPOP (0,03 мас. %)). В качестве фотоприемного устройства применен PIN-фотодиод или многоканальный электронный умножитель. Однако известный детектор нейтронов и нейтрино обладает недостаточно высоким уровнем светосбора сцинтилляций (из-за того, что пластиковый сцинтиллятор выполнен в форме параллелепипеда) и, как следствие, недостаточно высокой чувствительностью к быстрым нейтронам и нейтрино.

Задачей изобретения является повышение уровня светосбора в пластиковом сцинтилляторе объемно-волоконного сцинтилляционного детектора. Эта задача решается за счет того, что сцинтилляционный детектор содержит по крайней мере один датчик, состоящий из пластикового сцинтиллятора на основе органического водородсодержащего материала, чувствительного к нейтронам и нейтрино, светособирающего волоконного световода, фотоприемное устройство и блок обработки сигналов, причем пластиковый сцинтиллятор выполнен в форме цилиндра, покрытого светоотражающей пленкой, в центре которого имеется полый канал с размещенным в нем светособирающим волоконным световодом.

Сущность изобретения заключается в том, что водородсодержащий пластиковый сцинтиллятор имеет цилиндрическую форму, благодаря которой светоотражающее покрытие фокусирует световые вспышки на оси цилиндрического сцинтиллятора, вдоль которой проходит оптоволоконный световод, что обеспечивает повышенный светосбор по сравнению с пластиковым сцинтиллятором, имеющим форму параллелепипеда, в котором фокусирующее действие светоотражающего покрытия отсутствует.

Предлагаемое устройство обеспечивает регистрацию нейтронов и нейтрино с повышенной эффективностью. Блок-схема заявляемого устройства приведена на фиг. 1. Устройство состоит из одного или нескольких датчиков 1, фотоприемного устройства 2 и блока электронной обработки сигналов 3. Датчик 1 состоит из пластикового водородсодержащего сцинтиллятора 4, имеющего цилиндрическую форму, со светоотражающим покрытием 5. В центре пластикового сцинтиллятора 4 вдоль его оси имеется полый канал 6. Каждый датчик 1 имеет корпус 7 в форме параллелепипеда для удобства формирования из таких параллелепипедов всего сцинтилляционного детектора. В полном канале 6 цилиндрического сцинтиллятора размещен светособирающий волоконный световод 8, расположенный как и полый канал, вдоль основной оси сцинтиллятора. Световоды от каждого датчика соединены с фотоприемным устройством 2, а через него с блоком обработки сигналов 3.

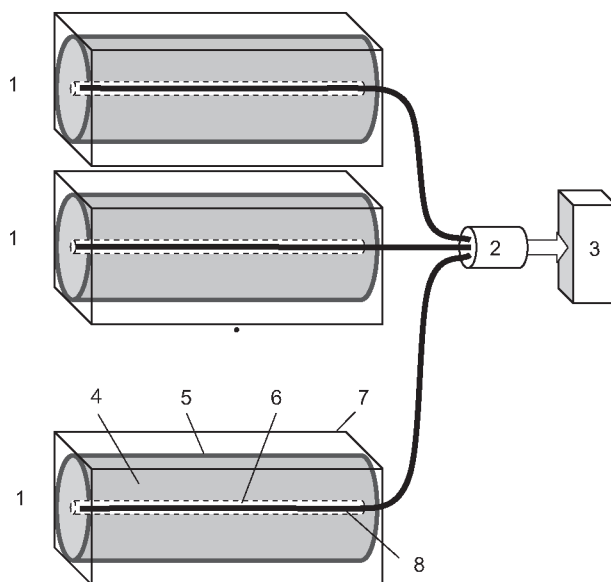
Сцинтилляционный детектор работает следующим образом. Регистрируемые нейтроны или нейтрино, попадая в пластиковый водородсодержащий сцинтиллятор 4 и рассеиваясь на ядрах водорода (нейтроны) или вступая в ядерную реакцию $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ (нейтрино), вызывают в нем появление световых вспышек (сцинтилляций), которые благодаря светоотражающему покрытию 5 поступают на световод 8 и затем регистрируются с помощью фотоприемного устройства 2 (обычно PIN фотодиод или многоканальный фотоэлектронный умножитель). Сигналы с фотоприемного устройства 2 поступают в блок обработки сигналов 3.

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного детектора является возможность регистрации с его помощью гамма-излучения, что позволяет использовать его для обнаружения радиоактивных веществ-источников гамма-излучения.

Система из цилиндрических датчиков, размещенных в корпусах, имеющих форму параллелепипеда, может содержать от единиц до тысяч датчиков, образуя сцинтилляционный детектор повышенной чувствительности. Последнее необходимо для регистрации нейтрино (несколько тысяч датчиков); для регистрации нейтронов детектор может содержать один или несколько датчиков предлагаемой конструкции.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор, содержащий по крайней мере один датчик, состоящий из пластикового сцинтиллятора на основе органического водородсодержащего материала, чувствительного к нейтронам и нейтрино, светособирающего волоконного световода, фотоприемное устройство и блок обработки сигналов, отличающийся тем, что пластиковый сцинтиллятор выполнен в форме цилиндра, покрытого светоотражающей пленкой, в центре которого имеется полый канал с размещенным в нем светособирающим волоконным световодом.



Фиг. 1

Реферат

Изобретение относится к нейроподобным вычислительным структурам и может найти применение в области вычислительной техники в качестве процессора вычислительных систем с высоким быстродействием.

Задачей изобретения является повышение скорости обработки информации в искусственной нейронной сети. Эта задача решается за счет того, что модель нейронной сети содержит, по меньшей мере, один узел обратной связи, по меньшей мере, один блок напряжений, группу аксоноподобных узлов нелинейной связи, включающих преобразователи потока излучения и локальные излучатели, причем каждый аксоноподобный узел дополнительно содержит, по меньшей мере, одну цепь последовательно соединенных схемы согласования и выделения огибающей радиопульса на входе и на выходе аксоноподобного узла, автогенератора со схемой самогашения и отрезка коаксиальной линии.

Технический результат: повышение степени распараллеливания вычислительных процессов, повышение скорости обработки информации.

Описание изобретения

Изобретение относится к нейроподобным вычислительным структурам и может найти применение в области вычислительной техники в качестве процессора вычислительных систем с высоким быстродействием.

Известна оптоэлектронная модель нейронной сети (Пат. 2070417 РФ), содержащая первую группу оптоэлектронных модулей, каждый из которых содержит последовательно включенные первый входной фотоприемный узел, интегрирующий узел и первый выходной узел светоизлучателей. В модель введена вторая группа оптоэлектронных модулей, каждый из которых содержит последовательно включенные второй входной фотоприемный узел, кодирующий узел и второй выходной узел светоизлучателей, при этом оптические входы первых входных фотоприемных узлов оптоэлектронных модулей первой группы оптически связаны с оптическими выходами вторых выходных узлов светоизлучателей оптоэлектронных модулей второй группы, а оптические входы вторых входных фотоприемных узлов оптоэлектронных модулей второй группы связаны с оптическими выходами первых выходных узлов светоизлучателей оптоэлектронных модулей первой группы.

Однако, известная модель нейронной сети обладает следующими недостатками: нелинейное преобразование входного сигнала в дискретный (импульсный), не образуя дополнительных каналов связи между нейронами, не повышает степени распараллеливания вычислительных процессов и скорости обработки информации в сети; уровень энергопотребления высокий и не связан с характером вычислительных процессов в сети; имеются значительные технологические трудности при создании сетей с большим числом нейронов или в микросхемном исполнении.

Из всех известных моделей нейронной сети наиболее близкой к заявляемой является оптоэлектронная модель нейронной сети (Пат. 2070334 РФ), содержащая два взаимосвязанных оптоэлектронных операционных блока распределенной моделирующей среды, блок опорных напряжений, оптоэлектронный узел обратной связи, электрооптические индикаторы, группу аксоноподобных интегрирующих узлов нелинейной связи, в которых производится преобразование оптических непрерывных сигналов в оптические дискретные сигналы, синапсоподобные интегрирующие узлы, где производится преобразование оптических дискретных сигналов в непрерывные оптические сигналы. Опти-

ческие выходы электрооптических индикаторов оптоэлектронных узлов обратной связи, установленные на плоском фоторезисторе, моделирующем дивергенцию выходных сигналов, оптически связаны с оптическими входами плоского операционного фоторезистора, моделирующего конвергенцию входных сигналов, что позволяет реализовать функции адаптации и обучения в нейронных сетях.

Однако, известная модель нейронной сети обладает следующими недостатками: нелинейное преобразование входного сигнала в дискретный (импульсный), не образуя дополнительных каналов связи между нейронами, данное преобразование не повышает степени распараллеливания вычислительных процессов и не обеспечивает повышения скорости обработки информации в сети; уровень энергопотребления известной модели нейронной сети высокий и не связан с характером вычислительных процессов в сети; имеются значительные технологические трудности при создании сетей с большим числом нейронов или в микросхемном исполнении.

Задачей изобретения является повышение скорости обработки информации в искусственной нейронной сети. Эта задача решается за счет того, что модель нейронной сети содержит, по меньшей мере, один узел обратной связи, по меньшей мере, один блок напряжений, группу аксоноподобных узлов нелинейной связи, включающих преобразователи потока излучения и локальные излучатели, причем каждый аксоноподобный узел дополнительно содержит, по меньшей мере, одну цепь последовательно соединенных схемы согласования и выделения огибающей радиоимпульса на входе и на выходе аксоноподобного узла, автогенератора со схемой самогашения и отрезка коаксиальной линии.

Сущность изобретения заключается в том, что в модель нейронной сети вводится такое нелинейное преобразование входного сигнала в дискретный (импульсный), которое позволит создать дополнительные каналы связи между нейронами (т. е. повысит степень распараллеливания вычислительных процессов и, соответственно, повысит скорость обработки информации в сети), снизит энергопотребление, уровень которого связан с характером вычислительных процессов в сети; снизит технологические трудности при создании сетей с большим числом нейронов или в микросхемном исполнении.

Модель нейронной сети (фиг. 1) содержит искусственную нейронную сеть из аналоговых нейронов 1, блок аксоноподобных узлов 2, регулируемые блоки напряжений 3, нерегулируемый блок напряжений 4.

Аксоноподобный узел нейрона (фиг. 2) состоит из цепочек последовательно включенных схемы согласования и выделения огибающей радиоимпульса 5, автогенератора 6 со схемой самогашения 8 и с выводом сигнала управления регулируемыми блоками напряжений 9, отрезка коаксиальной линии 7, шины питания аксоноподобного узла 10. Дополнительная схема согласования и выделения огибающей радиоимпульса 5 включена на выходе аксоноподобного узла.

Модель нейронной сети работает следующим образом. Информация, предназначенная для обработки, в виде сигналов поступает на вход искусственной нейронной сети из аналоговых нейронов 1, функционирующих на известных принципах биологического нейрона. Когда сумма сигналов на входе аналогового нейрона превышает уровень заданного порога, то на его выходе формируется последовательность частотно-модулированных импульсов (импульсов активации или спайков), частота следования которых зависит от суммарного уровня входных сигналов нейрона. Далее, последовательность частотно-модулированных импульсов поступает на вход аксоноподобного узла 2.

Аксоноподобный узел работает следующим образом (рис. 4.16). Импульс активации – спайк (далее – видеоимпульс), поступающий на схему согласования и выделения огибающей радиоимпульса 5, осуществляет «безударный» (без коммутации цепей постоянного тока) периодический запуск автогенератора 6 для реализации условий приема внешних электромагнитных колебаний. В момент генерации, радиоимпульс, возбужден-

ный в колебательной системе автогенератора 6 – коаксиальной линии 7, излучается в пространство этой же коаксиальной линией, выполняющей функции антенны, и, одновременно, поступает на вход следующей схемы согласования и выделения огибающей радиоимпульса 5. С выхода схемы согласования и выделения огибающей радиоимпульса 5, выделенный видеоимпульс поступает на запуск следующего автогенератора 6 и процесс повторяется вновь. С выхода последней в цепочке схемы согласования и выделения огибающей радиоимпульса 5, выделенный видеоимпульс поступает на вход следующего нейрона или непосредственно на выход искусственной нейронной сети.

Излученный же в пространство радиоимпульс может быть принят другим аксоноподобным узлом, расположенным на значительном расстоянии от 1-го. Поскольку осуществляется «безударный» запуск автогенератора, то реализуются условия приема внешних электромагнитных колебаний (т. е. автогенератор в данном случае является прямо-передающим устройством) и 1-й аксоноподобный узел способен принять радиоимпульсы от других аксоноподобных узлов, входящих в состав других нейронов сети. Таким образом, может осуществляться взаимная синхронизация частот излучения радиоимпульсов между большим числом нейронов. Наличие схемы самогашения в каждом автогенераторе приводит к тому, что синхронизируются не только частоты излучения радиоимпульсов, но частоты следования этих радиоимпульсов, т. е. путем преобразования исходной последовательности видеоимпульсов с выходов нейронов в радиоимпульсы, в процессе синхронизации осуществляется обмен информацией между нейронами. Кроме того, наличие схемы самогашения приводит к тому, что в процессе синхронизации ведущую роль играют те нейроны, частота импульсов на выходе которых выше, т. е. более «быстрые» подстраивают под себя более «медленные».

Отличительными особенностями предлагаемой модели нейронной сети, позволяющими реализовать новые полезные качества является следующее. Поскольку обмен информацией между нейронами дополнительно происходит посредством электромагнитного поля, то скорость обмена равна скорости распространения электромагнитных волн, а так как электромагнитное поле может обеспечить обмен информацией с большим числом нейронов (потенциально возможно соединение по принципу «все со всеми»), то степень распараллеливания вычислительных процессов и, соответственно, скорость обработки информации повышаются.

Цепями обратной связи 9 аксоноподобных узлов с выходов схем самогашения 8 (фиг. 2) на блоки регулируемых напряжений 3 (фиг. 1) осуществляется саморегуляция активности нейронов сети в зависимости от характера вычислительных процессов.

Последовательное включение нескольких цепочек схемы согласования и выделения огибающей радиоимпульса, автогенератора со схемой самогашения, отрезка коаксиальной линии повышает вероятность обмена информацией между нейронами за счет увеличения числа излученных радиоимпульсов при передаче информации с выхода аналогового нейрона через аксоноподобный узел на выход нейронной сети. Также повышается надежность работы сети, поскольку при неисправности какого либо нейрона функции обработки информации могут взять на себя другие нейроны, способные возбудиться в данный момент времени.

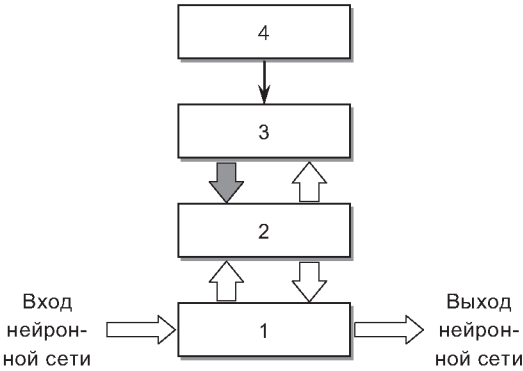
Предлагаемая модель реализуется средствами аналоговой электроники, технологически пригодна к микросхемному исполнению, в том числе и средствами нанотехнологий.

Эти свойства заявляемой модели нейронной сети являются существенными отличиями по сравнению с уже известными моделями.

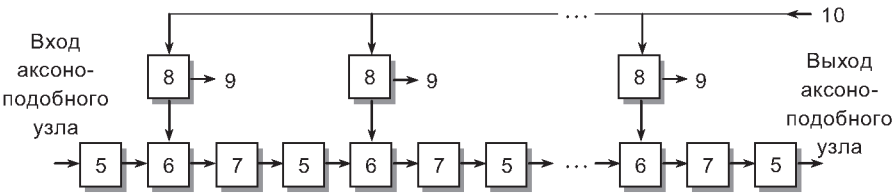
Формула изобретения

Модель нейронной сети, содержащая, по меньшей мере, один узел обратной связи, по меньшей мере, один блок напряжений, группу аксоноподобных узлов нелинейной

связи, включающих преобразователи потока излучения и локальные излучатели, отличающаяся тем, что, каждый аксоноподобный узел дополнительно содержит, по меньшей мере, одну цепь последовательно соединенных схемы согласования и выделения огибающей радиомпульса на входе и на выходе аксоноподобного узла, автогенератора со схемой самогашения и отрезка коаксиальной линии.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент № 2312061 РФ. Способ получения нитевидного нитрида алюминия / Ю. Д. Афонин, А. Р. Бекетов, А. В. Анипко, В. Б. Малков, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 25.04.2006; опубл. 10.12.2007. Бюл. №34.

Реферат

Использование: для получения нитевидных кристаллов нитрида алюминия AlN. **Сущность:** пропускание через нагретый алюминий газообразных реагентов в виде галогенидов алюминия (III) и азота с последующей конденсацией конечного продукта на подложке из чистого графита при скорости подачи галогенида алюминия (III) на уровне 0,1–6 см³/мин на каждый 1 см² поверхности конденсации. Технический результат: получение нитевидного нитрида алюминия AlN в виде упругих кристалловолокон с повышенным отношением длины к диаметру.

Описание изобретения

Изобретение относится к химической технологии получения соединений алюминия, а именно к технологии получения нитевидного нитрида алюминия AlN в виде нитевидных кристаллов, пригодных для изготовления сенсорных зондов на кантилеверах атомно-силовых микроскопов, применяемых при исследовании морфологии и топографии поверхности, адгезионных и механических свойств элементов микроэлектроники, объектов нанобиотехнологий и особо при высокотемпературных измерениях в нанометаллургии.

Нитрид алюминия AlN относится к числу веществ с уникальным сочетанием свойств, он характеризуется высокой термостойкостью, высокой теплопроводностью и одновременно высоким электросопротивлением, что обеспечивает его успешное применение в микроэлектронике (Неметаллические тугоплавкие соединения / Т. Я. Косолапова [и др.]. М.: Металлургия, 1985. 285 с).

Известны способы получения нитрида алюминия AlN высокотемпературным (1300 – 1700°C) карботермическим восстановлением чистого оксида алюминия в атмосфере азота (Заявка 2233969 Великобритания; заявка 3-48123 Япония). Однако с помощью этого способа получают порошкообразные или керамические образцы AlN. Нитевидные кристаллы AlN таким способом не получают.

Известен способ получения кристаллов нитрида алюминия совместно с монокристаллом фторидов металлов (Пат. 4172754 США). Однако таким способом можно получить только мелкодисперсные порошки. Нитевидные кристаллы AlN таким способом получить нельзя.

Известен способ получения волокон нитрида алюминия спеканием смеси алюминийсодержащего соединения, полимерного органического вещества, углеродсодержащего и/или азотсодержащего соединения. Процесс ведут в неокислительной атмосфере, содержащей азот (Заявка 2647436 Франция). Однако волокна имеют очень малое отношение длины волокна к диаметру не более 10⁻⁵0.

Известен способ получения игольчатого нитрида алюминия, включающий пропускку нагретой до 950 – 1000°C алюминиевой пудры смесью аргона и аммиака при дозированной подаче последней, что обеспечивает образование и рост игольчатых кристаллов нитрида алюминия на поверхности алюминиевых частиц. Однако известная технология требует контроля полноты протекания реакции. Кроме того, игольчатые кристаллы AlN, получаемые известным способом, загрязнены металлическим алюминием и теряют свои уникальные свойства.

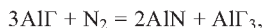
Наиболее близким к заявляемому является способ (Пат. 2106298 РФ), включающий пропускание через нагретый алюминий газообразных реагентов с регулируемой скоростью и последующую конденсацию конечного продукта, при этом в качестве газо-

образных реагентов используют галогениды алюминия (III) и азот, скорость подачи галогенида алюминия (III, трехвалентный алюминий) поддерживают на уровне 0,1 – 0,6 см³/мин на каждый 1 см² поверхности конденсации, а конденсацию ведут на подложке из компактного поликристаллического нитрида алюминия.

Известный способ обеспечивает получение нитрида алюминия в виде волокон с соотношением длины к диаметру более 100. Однако подложка из поликристаллического нитрида алюминия создает огромное число зародышей кристаллов AlN и они образуют комкообразные слои мягких нитей в виде войлока или ваты, элементы которых не пригодны из-за своей «вялости» и короткой длины для использования в качестве сенсорных зондов на кантилеверах атомно-силовых микроскопов.

Задачей настоящего изобретения является обеспечение технологии получения нитрида алюминия в виде упругих кристалловолокон с повышенным отношением длины к диаметру (более 200 – 300). Поставленная задача решается за счет того, что в способе, включающем пропускание через нагретый алюминий галогенидов алюминия (III) и азота со скоростью подачи галогенидов алюминия (III) на уровне 0,1–6,0 см³/мин на каждый 1 см² поверхности конденсации, а конденсацию ведут на подложке из чистого графита.

Сущность способа заключается в следующем. Галогенид алюминия, например, AlCl₃ испаряли в отдельном реакторе, пары подавали в ванну, наполненную жидким алюминием, при температуре, достаточной для образования субгалогенида алюминия, например, AlCl, AlF или выше, газообразный субгалогенид поступает в пространство над ванной жидкого алюминия и подложкой из чистого графита. В то же пространство подают азот в соотношении 1:1,2 и выше относительно галогенида алюминия. На поверхности подложки идет реакция



где Г – галогенид алюминия.

Нитрид алюминия образуется на активных центрах графитовой подложки в виде нитевидных кристалловолокон, хорошо разделенных друг относительно друга, формируемых в виде зарослей жестких травинок (фиг. 3), совершенно отличных от войлочных или ватных образцов, получаемых по известному методу.

Способ иллюстрируется следующими примерами выполнения.

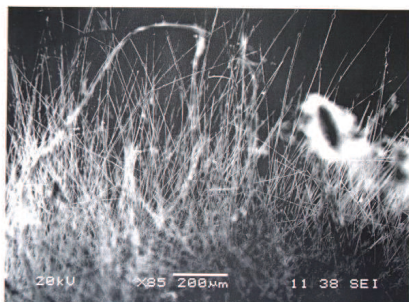
Пример 1. Трихлорид алюминия испаряли при температуре 195°C, пары подавали в ванну жидкого алюминия при температуре 1150°C. Над поверхностью ванны устанавливали пластинку из чистого графита диаметром 36 мм. Расход трихлорида составил 1,5 см³/мин. В пространство между поверхностью ванны и графитовой пластины подавали азот со скоростью 22 см³/мин. Продолжительность опыта составляла 1 час 40 мин. На поверхности графитовой пластины сформировался слой кристалловолокон в виде «кучи жесткой соломы» толщиной 5 – 6 мм. Рентгенофазовый анализ показал, что эта «куча соломы» состоит из нитрида алюминия. Снимки, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-5900 LV, показали, что нитрид алюминия представлен в виде нитевидных кристаллических волокон с соотношением диаметра к длине выше 400 – 500, что представлено на фиг. 1.

Пример 2. Трифторид алюминия испаряли при температуре 1280°C, пары подавали в ванну жидкого алюминия при температуре 1250°C. Над поверхностью ванны устанавливали пластину из чистого графита диаметром 36 мм. Расход трифторида составлял до 6 см³/мин. В пространство между поверхностью ванны и графитовой пластиной подавали азот со скоростью 23 см³/мин. Продолжительность опыта составляла 3,5 часа. На поверхности диска сформировался слой из волокон в виде «кучи соломы», край которой похож на «иглолки ежика или дикобраза». Рентгенофазовый анализ показал, что эта «куча соломы» представляет слой нитрид алюминия в виде нитевидных кристалловолокон.

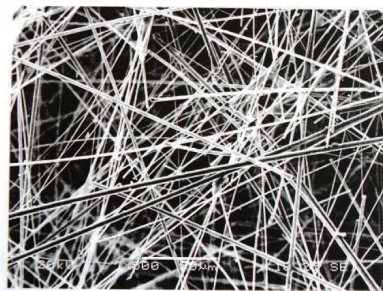
Снимки этих кристалловолокон, полученные на электронном микроскопе JEOL JSM-5900 LV приведены на фиг. 2. Выделен фрагмент, где представлен оконечный участок волокна толщиной (диаметром) 2,9 мкм, заканчивающийся острием порядка 60 нм. Такие кристалловолокна пригодны для использования в качестве зондов на кантилеверах атомно-силовых микроскопов.

Формула изобретения

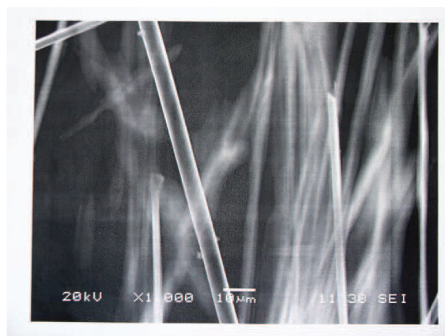
Способ получения нитевидного нитрида алюминия, включающий пропускание через нагретый алюминий газообразных реагентов в виде галогенидов алюминия (III) и азота и последующую конденсацию конечного продукта, при этом подачу галогенида алюминия (III) осуществляют со скоростью на уровне 0,1–6 см³/мин на каждый 1 см² поверхности конденсации, отличающийся тем, что конденсацию ведут на подложке из чистого графита.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Патент № 2315231 РФ. Способ изготовления инфракрасного светофильтра / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, А. В. Анипко, Д. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 22.06.2006; опубл. 20.01.2008. Бюл. №2.

Реферат

Применение: для создания инфракрасных светофильтров отрезающего и полосового типа, поглощающих видимое излучение и пропускающих коротковолновое и длинноволновое ближнее инфракрасное излучение и предназначенных для защиты инфракрасных датчиков видеоконтрольных устройств и приборов ночного видения от паразитных помех, связанных с воздействием света видимого диапазона, а также для использования в оптических системах контроля подлинности документов, в системах охранной и пожарной сигнализации, в том числе в системах контроля и разграничения доступа и охраны периметра объектов, в видеодомофонах, видеоглазках и тому подобных устройствах.

Суть изобретения заключается в том, что в качестве материала для ИК светофильтра используют предварительно активированные кристаллы LiF:U и облучают их нейтронами до флюенса $1,2 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Облученные кристаллы выдерживают на воздухе при комнатной температуре в течение 10^{-12} месяцев, а затем подвергают их отжигу на воздухе при температуре $200 - 300^\circ\text{C}$ в течение 0,5 – 1,5 часов. Технический результат: обеспечение сплошного поглощения света в видимом диапазоне и повышение термической и радиационной устойчивости.

Описание изобретения

Изобретение относится к области светотехники и интегральной оптики, связанной с созданием инфракрасных светофильтров отрезающего и полосового типа, поглощающих видимое излучение и пропускающих коротковолновое и длинноволновое ближнее инфракрасное излучение и предназначенных для защиты инфракрасных датчиков видеоконтрольных устройств и приборов ночного видения от паразитных помех, связанных с воздействием света видимого диапазона, а также для использования в оптических системах контроля подлинности документов, в системах охранной и пожарной сигнализации, в том числе в системах контроля и разграничения доступа и охраны периметра объектов, в видеодомофонах, видеоглазках и тому подобных устройствах.

Известен способ изготовления ИК-светофильтра (Пат. 2579513 США), заключающийся во введении органических красителей в резину и нанесении резинового покрытия с органическими красителями на стеклянную подложку. Недостатком ИК-светофильтров, полученных известным способом, является их низкая термическая устойчивость (из-за базового покрытия на основе резины), а также повышенные потери полезного длинноволнового излучения ближнего (в области 3–12 мкм) ИК-диапазона, являющегося частью активного рабочего ИК-диапазона видеоконтрольных устройств.

Известен способ получения ИК-светофильтров на основе полистирола или полиметилметакрилата (Лаборатория физики полимеров Санкт-Петербургского технологического института (технического университета), интернет-сайт www.epoxy.newmail.ru) в виде пластин окрашенных органических стекол с глянцевыми (полированными) или шероховатыми (матовыми) поверхностями путем заливки в соответствующие формы оптически прозрачных эпоксидных композиций с внедренными органическими красителями и последующего отверждения с границей пропускания 0,66–0,75 мкм. Однако получаемые по такому способу ИК-светофильтры имеют низкую термическую устойчивость и большие потери полезного длинноволнового ИК-излучения в области 3–12 мкм, что снижает чувствительность видеоконтрольных ИК-устройств (в частности, на основе кремния) в активной части их рабочего ИК-диапазона.

Известен способ изготовления инфракрасного светофильтра (Пат. 2269802 РФ) на основе фторидов элементов I группы таблицы Менделеева (фторида натрия) с использованием корпускулярного излучения (циклотронных пучков ионов He^+) до доз (флюенса) $\sim 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Однако получаемые известным способом фильтры из-за низкой проникающей способности ионных пучков имеют малую толщину активного слоя поглощения (несколько микрон), что снижает надежность эксплуатационных характеристик ИК-светофильтров при ударных нагрузках из-за возможности скола фильтрующего слоя и полной деструкции ИК-светофильтра. Недостатком ИК-светофильтров, получаемых по известному способу, является также характерное для них частичное пропускание света видимого диапазона, поскольку для них характерно поглощение света видимого диапазона в виде отдельных полос с максимумами при 310 нм (F-полос центров окраски), при 442 и 518 нм (F_2^- и F_3^+ -полос), так что сплошного поглощения света видимого диапазона не происходит.

Известен способ окрашивания кристаллов фторида лития LiF путем их облучения нейтронами до высоких флюенсов $\sim 10^{16}\text{--}10^{19} \text{ см}^{-2}$ в ядерном реакторе (Будылин Б. В. Действие излучения на ионные структуры / Б. В. Будылин, А. А. Воробьев. М.: Госатомиздат, 1962. 168 с). Установлена зависимость изменения плотности кристаллов LiF от флюенса облучения нейтронами. При флюенсе 10^{16} см^{-2} плотность меняется незначительно, всего на 0,4 %, при флюенсе 10^{17} см^{-2} на 1,5 %, а при флюенсах $6 \cdot 10^{17}\text{--}10^{18} \text{ см}^{-2}$ плотность изменялась на 23 %. Эти сведения известны для неактивированных образцов LiF. Однако способ облучения активированных образцов LiF, в частности таких как LiF:U, и влияние облучения на радиационную чувствительность и возможность изготовления светофильтров путем облучения нейтронами активированных примесями кристаллов LiF в известной работе не описаны.

Наиболее близким к заявляемому является известный способ получения ИК-светофильтров на основе кристаллов LiF путем окрашивания кристаллов LiF реакторным нейтронным излучением (Фтористый литий: оптические свойства и применение в термолюминесцентной дозиметрии / К. К. Шварц, Я. Ж. Кристопсон, Д. Ю. Лусис, А. В. Подиць // Радиационная физика V. Люминесценция и дефекты ионных кристаллов. Рига: Зинатне, 1967. С. 179—235) Под действием реакторного излучения в кристаллах LiF образуются простые и агрегатные центры окраски при флюенсах $\sim 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и выше. Окрашенные нейтронами кристаллы LiF, согласно известному источнику, имеют серию полос поглощения с максимумами при 275, 518, 530, 540, 780, и 950 нм. В известной работе установлено, что чистые неактивированные кристаллы LiF являются достаточно устойчивыми к нейтронной радиации, в том смысле, что действие реакторного излучения (флюенс $10^{16}\text{--}10^{17} \text{ см}^{-2}$) на кристаллы LiF приводит лишь к образованию отдельных полос поглощения в видимой области спектра, а не к сплошному поглощению во всем видимом диапазоне. Однако, сведения об облучении нейтронами кристаллов фторида лития, предварительно активированных ураном (LiF:U), в известной работе отсутствуют; о влиянии урановой примеси на радиационную чувствительность кристаллов и о возможности получения ИК-светофильтров на основе LiF:U в известной работе сведений также нет.

Задачей настоящего изобретения является разработка способа изготовления инфракрасного светофильтра на основе кристаллов фторида лития с повышенной термической устойчивостью и повышенного оптического качества, обладающего сплошным спектром поглощения в видимой области спектра.

Сущность предлагаемого способа изготовления инфракрасного светофильтра на основе кристаллов LiF с использованием эффекта радиационного окрашивания при облучении реакторными нейтронами заключается в том, что в качестве основы светофильтра используют предварительно активированные кристаллы LiF:U, которые вначале облучают в реакторе нейтронами до флюенса $1,2 \cdot 10^{16}\text{--}3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, затем выдерживают об-

лученные кристаллы LiF:U на воздухе при комнатной температуре в течение 10^{-12} месяцев для снятия остаточной радиоактивности, после чего кристаллы LiF:U отжигают на воздухе при $250 - 300^\circ\text{C}$ в течение 0,5 – 1,5 часов.

Под действием нейтронов при флюенсах $(1,2 - 3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ во всем объеме облученного кристалла LiF:U (толщиной 0,8–1 мм и более) образуется большое количество дефектов, представляющих собой прежде всего дефекты Френкеля (анионные V_a и катионные V_c вакансии и междоузельные атомы), а также дефекты в виде электронных и дырочных центров окраски, в частности, центры окраски типа O^-V_a (кислород-вакансия), простые F-центры и агрегатные F_2^- , F_3^{+} -, $F_3(R_1)$ -, $F_3(R_2)$ - центры и, наконец, коллоидальные частицы лития, различных размеров. Образование таких дефектов, являющихся центрами окраски в сочетании с дефектами в виде коллоидального лития делает кристаллы LiF:U непрозрачными для ультрафиолетового и видимого света в диапазоне 190 – 700 нм, фиг. 1, кривая 1 (измерение проведено с помощью спектрофотометра HelioS-Alpha). Процедура отжига (0,5 – 1,5 часа) при температурах 100, 200 и 300°C (фиг. 1, кривые 2, 3 и 4 соответственно) приводит к образованию за счет агрегатных центров еще более сложных агрегатных центров, что вызывает сдвиг края поглощения с 700 до 800 нм (фиг. 1). Отжиг кристаллов LiF:U при более высоких температурах $460 - 500^\circ\text{C}$ приводит к просветлению и обесцвечиванию кристаллов (фиг. 1, кривая 5). Наблюдаемое формирование повышенной концентрации дефектов зависит от наличия в кристаллах LiF примеси урана, который обеспечивает повышенную радиационную чувствительность материала-заготовки для светофильтра ИК диапазона. Кристаллы LiF с другими, отличными от урана примесями, например, с примесью скандия, LiF:Sc, будучи облученными нейтронами в реакторе не обеспечивают сплошного поглощения в диапазоне 190 – 750 нм, (последнее характерно для кристаллов LiF:U), даже при флюенсе $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Поглощение для кристаллов LiF:Sc наблюдается в виде перекрывающихся полос, что снижает качество светофильтров.

Предлагаемый способ изготовления инфракрасных светофильтров обеспечивает расширение зоны поглощения кристаллов (в диапазоне 190 – 800 нм) и их термоустойчивость до температур $200 - 300^\circ\text{C}$. Кроме выше названных преимуществ, предлагаемый способ обеспечивает еще ряд дополнительных преимуществ. Получаемые по предлагаемому способу ИК-светофильтры негигроскопичны и химически инертны. Кроме того, они обладают повышенной радиационной стойкостью к нейтронам, поскольку именно нейтроны являются необходимым условием для окрашивания кристаллов LiF:U, именно они обеспечивают их функциональные рабочие характеристики полного поглощения светового излучения во всем видимом диапазоне. ИК-светофильтры на основе кристаллов LiF:U, полученные по предлагаемому способу, устойчивы к радиационным ударам и долговременным радиационным воздействиям не только нейтронных потоков, но и к воздействию фотонных (гамма-излучения), электронных и ионных пучков до флюенса 10^{17} см^{-2} и выше, поскольку последние могут только увеличить в приповерхностных (ионные пучки) и в объеме (фотонные и электронные пучки) концентрацию агрегатных центров окраски, т. е. усилить (путем дополнительного окрашивания) эффект фильтрации.

Дополнительным преимуществом предлагаемого изобретения является возможность выполнения получаемыми ИК-светофильтрами не только функции фильтрации видимого света, но и функции линза-фильтр для ИК-излучения. Последнее достигается, если кристалл фторида лития LiF:U изготовляют изначально в форме линзы.

Примеры осуществления способа

Во всех приведенных ниже примерах после процедуры облучения (окрашивания) кристаллов LiF:U нейтронами в ядерном реакторе кристаллы подвергают выдержке на воздухе в течение 10^{-12} месяцев для полного снятия радиоактивности, после чего приступают к процедуре отжига кристаллов.

Пример 1. Светофильтр на основе кристалла LiF:U получают путем облучения этих кристаллов нейтронами в ядерном реакторе до флюенса $1,1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Спектр поглощения светофильтра в диапазоне 190 – 1100 нм (измеренный до процедуры отжига) показан на фиг. 1, кривая 1. Отжиг при температуре 200°C в течение 1,0 часа приводит к тому, что интенсивное поглощение света начинает происходить в расширенном (в ИК-область) диапазоне, фиг. 1, кривая 2; вплоть до 0,8 мкм, далее, начиная с 0,8 мкм, поглощение вплоть до 10 мкм отсутствует.

Пример 2. Светофильтр на основе кристалла LiF:U получают путем облучения этих кристаллов нейтронами в ядерном реакторе до флюенса $1,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Спектр поглощения светофильтра в диапазоне 190 – 1100 нм до процедуры отжига показан на фиг. 1, кривая 1. Отжиг при температуре 300°C в течение 0,5 часа приводит к тому, что интенсивное поглощение света начинает происходить в расширенном (в ИК-область) диапазоне, фиг. 1, кривая 4; начиная с 0,8 мкм, поглощение вплоть до 10 мкм отсутствует.

Пример 3. Светофильтр на основе кристалла LiF:U получают путем облучения этих кристаллов нейтронами в ядерном реакторе до флюенса $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Спектр поглощения светофильтра в диапазоне 190 – 1100 нм до процедуры отжига показан на фиг. 1, кривая 1. Отжиг при температуре 250°C в течение 1,5 часа приводит к тому, что интенсивное поглощение света начинает происходить в расширенном (в ИК-область) диапазоне, фиг. 1, кривая 3; начиная с 0,8 мкм, поглощение вплоть до 10 мкм отсутствует. Свет, соответствующий спектру солнца и спектру дневного неба, практически полностью поглощается в светофильтре.

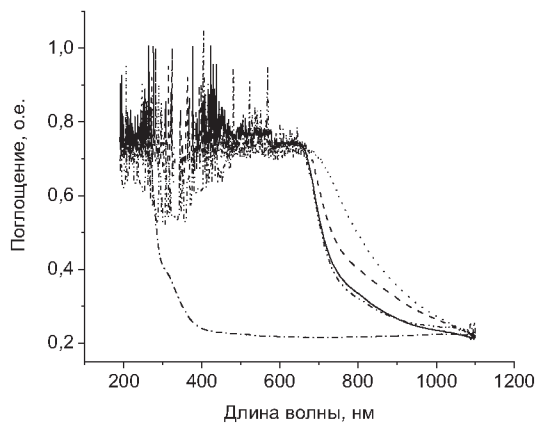
Пример 4. Светофильтр на основе кристалла LiF:U получают путем облучения этих кристаллов нейтронами в ядерном реакторе до флюенса 10^{14} см^{-2} . В спектре поглощения светофильтра в диапазоне 190 – 1100 нм имеется слабое поглощение излучения в диапазоне 190 – 700 нм, в виде отдельных полос, в основном в виде F-полосы при 242 нм, наблюдаются также полосы поглощения агрегатных центров. Однако, поглощение слабое, так что функции фильтрации видимого света не выполняются. Отжиг при температуре 500°C в течение 2,0 часа приводит к полному обесцвечиванию кристаллов LiF:U.

Пример 5. Светофильтр на основе кристалла LiF:U получают путем облучения до флюенса $5,1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ с последующим отжигом при 300°C в течение 1 часа. Светофильтр прозрачен для ИК-излучения в диапазоне длин волн 0,8–12 мкм, в области длин 190 – 750 нм происходит практически полное поглощение излучения. Коэффициент поглощения не ниже $5 \cdot 10^5 - 10^6 \text{ см}^{-1}$. Излучение, соответствующее спектру солнца и спектру дневного неба, практически полностью поглощается. Однако преимуществ перед примерами 1 – 3 этот пример не имеет. Связано это с тем, что возрастает время облучения, что ведет к некоторому удорожанию изготовления светофильтров. Недостатком высокого 10^{18} см^{-2} (и выше) флюенса является снижение прочности кристалла, возможно самопроизвольное раскалывание кристалла на слои или кусочки. Кроме того, повышенные флюенсы требуют повышенного времени остывания кристалла для снижения радиоактивности до фонового уровня.

Формула изобретения

Способ изготовления инфракрасного светофильтра на основе кристаллов фторида лития, включающий облучение нейтронами в ядерном реакторе до высоких флюенсов, отличающийся тем, что в качестве материала для ИК светофильтра используют предварительно активированные кристаллы LiF:U и облучают их нейтронами до флюенса $1,2 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$, после облучения выдерживают их на воздухе при комнатной темпе-

ратуре в течение 10^{-12} месяцев, а затем подвергают их отжигу на воздухе при температуре 200 – 300°C в течение 0,5 – 1,5 часов.



Фиг. 1

Патент №. 2323453 РФ. Световолоконный сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, К. О. Хохлов, В. Ю. Иванов, А. В. Кружалов, В. Л. Петров, В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, К. Педрини, Ж.-М. Фурмиге. Заявл. 03.11.2006; опубл. 27.04.2008. Бюл. №12.

Реферат

Применение: в системах радиационного мониторинга трансграничных перемещений людей и грузов, входного мониторинга помещений аэропортов, помещений общественных зданий; для радиационного контроля металлолома; для радиационного контроля строительных материалов, строительных блоков и металлоконструкций; в интроскопах (томографах) медицинского и технического назначения.

Сущность: световолоконный сцинтилляционный детектор, содержит сборку сцинтилляционных волокон (волоконных кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$), предназначенных для регистрации гамма-излучения, и фотоприемное устройство, находящиеся в оптическом контакте друг с другом, причем сборка сцинтилляционных волокон помещена в единую оболочку с внутренним светоотражающим покрытием, выполнена в виде сцинтилляционного кабеля в форме кольца или арки и дополнительно содержит волокна для регистрации быстрых нейтронов (из водородсодержащего пластика) и тепловых нейтронов (из ^6Li -содержащего силикатного стекла, активированного Ce^{3+}), а фотоприемное устройство состоит из двух фотоприемников, расположенных в противоположных торцах сборки сцинтилляционных волокон. Между фотоприемником и сборкой сцинтилляционных волокон дополнительно введен сместитель спектра.

Технический результат: повышение чувствительности детектора при работе в полях смешанных излучений (гамма-излучение, быстрые и тепловые нейтроны); возможность регистрации излучения в плоском угле 2π или π .

Описание изобретений

Изобретение относится к сцинтилляционным детекторам гамма- и нейтронного излучения и может быть использовано для фундаментальных исследований в области ядерной физики и физики высоких энергий; в дозиметрической практике в системах радиационного мониторинга трансграничных перемещений людей и грузов, мониторинга помещений аэропортов (проверка пассажиров, их багажа и других грузов), а в связи с глобализацией актов терроризма может быть использовано для мониторинга помещений общественных зданий (допуск в правительственные здания, спортивные комплексы, здания политических, юридических и военных ведомств, театры, филармонии, крупные национальные музеи); для радиационного контроля металлолома, поступающего на переплавку в металлургические предприятия; для радиационного контроля строительных материалов, строительных блоков и металлоконструкций; может быть использовано в интроскопах (томографах) медицинского и технического назначения.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор, включающий в себя сборку сцинтилляционных волокон (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963). Сборка сцинтилляционных волокон содержит нити из пластикового сцинтиллятора диаметром 1 мм, которыми заполнен люцитовый каркас сборки, имеющий размер $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}^3$. Такой световолоконный сцинтилляционный детектор пригоден для регистрации нейтронов (быстрых), однако из-за низкого эффективного атомного номера ($Z_{\text{ef}} < 6$) он имеет очень низкую чувствительность к гамма-излучению и поэтому непригоден для одновременной регистрации нейтронного и гамма-излучений. Кроме того, недостатком известного детектора является невозможность его использования в качестве детектора кольцевого или арочного типа, обеспечивающего регистрацию излучений в плоском угле 2π или π соответственно.

Известен световолоконный детектор (Свидетельство РФ на полезную модель № 1756, МПК⁶ G01T 5/08, опубл. 16.02.1996), представляющий собой сборку сцинтилляционных волокон на основе галогенидов серебра. Однако известный световолоконный детектор не чувствителен к нейтронам и не пригоден для использования в качестве детектора нейтронного излучения. Возможность регистрации излучения в плоском угле 2π или π с использованием известного световолоконного детектора в известной полезной модели не предусмотрена.

Известен сцинтилляционный световод (Патент РФ 2154290, МПК⁷ G02B 6/02, опубл. 10.08.2000), который используют для обнаружения и регистрации ионизирующего излучения (рентгеновского, гамма-, альфа- и электронного). Состав сцинтилляционного световода – твердые растворы на основе галогенидов серебра, мас. %: AgCl 17,980 – 27,000; AgBr 82,000 – 72,499; AgI 0,010 – 0,500, активированные добавками либо таллия, либо хрома, либо европия, либо церия в количестве 0,01 – 0,001 мас. %. Однако известный сцинтилляционный световод непригоден для одновременной регистрации гамма- и нейтронного излучения. Возможность регистрации излучения в плоском угле 2π или π с использованием известного сцинтилляционного световода не предусмотрена.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор (Salomon M. New Measurements of Scintillating Fibers Coupled To Multianode Photomultipliers / M. Salomon. IEEE Trans. Nucl. Sci. 1992. Vol. 39. P. 671). Такой детектор содержит сборку органических сцинтилляционных волокон (до нескольких тысяч волокон) и фотоприемное устройство. Известный детектор используется для регистрации треков быстрых заряженных частиц в калориметрах различного типа. Однако, органические сцинтилляционные волокна, входящие в известный световолоконный сцинтилляционный детектор, имеют низкий эффективный атомный номер и, соответственно, невысокую эффективность регистрации гамма-излучения. Таким образом, известный световолоконный сцинтилляционный детектор непригоден для одновременной регистрации и обнаружения гамма- и нейтронного излучений. Кроме того, волокна, входящие в состав известного световолоконного сцинтилляционного детектора, рассчитаны на получение информации о треках частиц, а потому имеют форму цилиндров с небольшой длиной, что обеспечивает малый плоский угол регистрации излучений. Таким образом, известный световолоконный сцинтилляционный детектор непригоден для использования в качестве детектора кольцевого или арочного типа, обеспечивающего одновременную регистрацию и обнаружение нейтронного и гамма-излучений в плоском угле 2π или π соответственно.

Наиболее близким к заявляемому является световолоконный сцинтилляционный детектор (Патент РФ 2262722 МПК⁷, G01T 5/08, опубл. 20.10.2005), содержащий сборку коротких сцинтилляционных волокон (волоконных кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$), предназначенных для регистрации гамма-излучения, и фотоприемное устройство, находящиеся в оптическом контакте друг с другом. Однако известный световолоконный сцинтилляционный детектор способен регистрировать и обнаруживать только гамма-излучение и непригоден для регистрации и обнаружения нейтронного излучения, т. е. он непригоден для одновременной регистрации и обнаружения гамма- и нейтронного излучений. Кроме того, известный световолоконный сцинтилляционный детектор (сборка волокон) обеспечивает лишь малый плоский угол регистрации излучений. Таким образом, известный световолоконный сцинтилляционный детектор непригоден для использования в качестве детектора кольцевого или арочного типа, обеспечивающего одновременную регистрацию и обнаружение нейтронного и гамма-излучений в плоском угле 2π или π .

Задачей изобретения является разработка световолоконного сцинтилляционного детектора, предназначенного для одновременной регистрации и обнаружения гамма- и нейтронного (быстрые и тепловые нейтроны) излучений, обеспечивающего повышен-

ный плоский угол регистрации излучений: 2π (детектор кольцевого типа) или π (детектор арочного типа).

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого световолоконного сцинтилляционного детектора, содержащего сборку сцинтилляционных волокон и фотоприемное устройство, находящиеся в оптическом контакте друг с другом, благодаря тому, что сборка сцинтилляционных волокон содержит сцинтилляционные волокна трех типов, чувствительных соответственно к гамма-излучению, быстрым и тепловым нейтронам, сборка помещена в единую оболочку с внутренним светоотражающим покрытием, выполнена в виде сцинтилляционного кабеля и имеет форму кольца или арки, а фотоприемное устройство состоит из двух фотоприемников, расположенных в противоположных торцах сборки сцинтилляционных волокон. Волокна для регистрации гамма-излучения выполнены в виде волоконных кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, волокна для регистрации быстрых нейтронов выполнены из водородсодержащего пластика, а волокна для регистрации быстрых нейтронов выполнены из ^6Li -содержащего силикатного стекла, активированного Ce^{3+} . Между фотоприемниками и сборкой сцинтилляционных волокон дополнительно введен сместитель спектра.

Сущность изобретения заключается в том, что в световолоконный сцинтилляционный детектор, содержит сборку сцинтилляционных волокон, предназначенных для регистрации гамма-излучения (волоконных кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$), и фотоприемное устройство, находящиеся в оптическом контакте друг с другом, причем сборка сцинтилляционных волокон помещена в единую оболочку с внутренним светоотражающим покрытием, выполнена в виде сцинтилляционного кабеля и имеет форму кольца или арки и дополнительно содержит волокна для регистрации быстрых нейтронов (из водородсодержащего пластика) и тепловых нейтронов (из ^6Li -содержащего силикатного стекла, активированного Ce^{3+}), а фотоприемное устройство состоит из двух фотоприемников, расположенных в противоположных торцах сборки сцинтилляционных волокон. Между фотоприемником и сборкой сцинтилляционных волокон дополнительно введен сместитель спектра.

Применение в сборке сцинтилляционных волокон волокон трех типов, обеспечивает одновременную регистрацию и обнаружение гамма-излучения, быстрых и тепловых нейтронов. Особая форма сборки сцинтилляционных волокон (в виде сцинтилляционного кабеля в форме кольца или арки) обеспечивает регистрацию излучения в большом плоском угле (2π или π соответственно), что увеличивает чувствительность детектора. Применение единой оболочки с внутренним светоотражающим покрытием для сборки сцинтилляционных волокон, т. е. сцинтилляционного кабеля, и применение двух фотоприемников на обоих торцах сборки сцинтилляционных волокон повышает светосбор, т. е. увеличивает чувствительность детектора.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами: на фиг. 1 представлена схема световолоконного сцинтилляционного детектора со сборкой сцинтилляционных волокон, выполненной в виде кольца; на фиг. 2 представлена схема световолоконного сцинтилляционного детектора со сборкой сцинтилляционных волокон, выполненной в виде арки.

Предлагаемое устройство содержит сборку сцинтилляционных волокон 1 и фотоприемное устройство 2, находящиеся в оптическом контакте друг с другом. Сборка сцинтилляционных волокон 1 содержит сцинтилляционные волокна трех типов:

- 1) волокна, чувствительные к гамма-излучению, представляющие собой волоконные кристаллы $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$;
- 2) волокна, чувствительные к быстрым нейтронам, изготовленные из водородсодержащего сцинтиллирующего пластика;
- 3) волокна, чувствительные к тепловым нейтронам, изготовленные из ^6Li -содержащего силикатного стекла ($\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-MgO-CaO-SiO}_2\text{-Ce}^{3+}$).

Сборка сцинтилляционных волокон 1 помещена в единую оболочку 3 с внутренним светоотражающим покрытием, т. е. представляет собой сцинтилляционный кабель, который имеет форму кольца (фиг. 1) или арки (фиг. 2).

В сцинтилляционном кабеле сборки сцинтилляционных волокон 1 может содержаться от одного до нескольких волокон каждого из вышеперечисленных типов. Наряду с волоконными BGO, могут применяться и другие волоконные кристаллы, чувствительные к гамма-излучению, например, $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ или $PbWO_4$.

Фотоприемное устройство 2 выполнено в виде двух фотоприемников 4, расположенных в противоположных торцах сборки сцинтилляционных волокон 1. Каждый из фотоприемников 4 имеет оптический контакт с каждым волокном сборки сцинтилляционных волокон 1 и выполнен в виде PIN-фотодиода (или ПЗС-фотоприемника) с максимумом спектральной чувствительности соответствующим максимуму спектра люминесценции сборки сцинтилляционных волокон 1. Если на практике соответствие между спектральной чувствительностью фотоприемников 4 и максимумом спектра люминесценции сборки сцинтилляционных волокон 1 не выполняется (в силу специфики выбора сцинтилляционных волокон или фотоприемников), в устройство между фотоприемниками 4 и сборкой сцинтилляционных волокон 1 дополнительно вводят сместитель спектра (выполненный, например, по известному патенту РФ 2248588 (Б.и. 20.03.2005 №8, МПК G01T 1/20, 3/06)).

Работа устройства в смешанных (гамма-излучение плюс нейтроны) полях ионизирующих излучений происходит следующим образом. Под воздействием гамма-излучения в волокнах, чувствительных к гамма-излучению, возникают световые вспышки – сцинтилляции. Последние по волокну (где бы они в волокне не возникали) поступают на фотоприемники 4. Поскольку в качестве фотоприемников используются PIN-фотодиоды (или ПЗС-фотоприемники), с максимумом спектральной чувствительности, как правило, в красной области спектра, наиболее подходящим материалом для волокон, чувствительных к гамма-излучению, является ортогерманат висмута $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO), максимум спектра люминесценции которого приходится на 490 и 505 нм, полоса свечения 470 – 560 нм. Волокна BGO выпускаются в промышленном масштабе французской фирмой FIBERCRYST.

Под воздействием быстрых нейтронов в волокнах, чувствительных к быстрым нейтронам, в волокнах водородсодержащего сцинтиллирующего пластика, возникают протоны отдачи, которые вызывают в пластике световые вспышки – сцинтилляции. Последние по волокну (где бы они в волокне не возникали) поступают на фотоприемники 4. Поскольку в качестве фотоприемников используются PIN-фотодиоды (или ПЗС-фотоприемники) с максимумом спектральной чувствительности, как правило, в красной области спектра, наиболее подходящим материалом для волокон, чувствительных к быстрым нейтронам, является сцинтиллирующий пластик с максимумом свечения в красной области. Такой сцинтиллирующий пластик выпускается в промышленном масштабе Харьковским институтом монокристаллов. Либо используется типовой пластик с синим спектром свечения и сместителем спектра.

Под воздействием тепловых нейтронов в волокнах, чувствительных к тепловым нейтронам, в частности в стекловолокнах из 6Li -содержащего силикатного стекла ($Li_2CO_3-MgO-CaO-SiO_2-Ce^{3+}$), протекает реакция ${}^6Li(n, \alpha)T$. Получающиеся в результате этой реакции α -частицы возбуждают ионы церия Ce^{3+} . Спонтанное снятие возбуждения в ионах церия Ce^{3+} приводит к появлению в стекловолокне световых вспышек – сцинтилляций с максимумом спектра люминесценции в области 390 – 400 нм. Эти сцинтилляции по волокну (где бы они в волокне не возникали) поступают на фотоприемники 4 через сместитель спектра. В стекловолокнах регистрируются тепловые нейтроны первичного спектра, а также тепловые нейтроны, возникшие в результате замедления быстрых нейтронов в пластиковых волокнах сцинтилляционного кабеля.

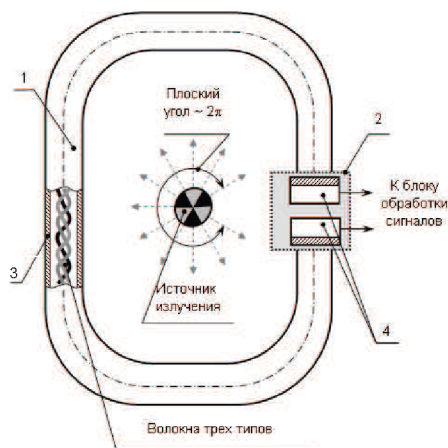
Обработка информации, полученной с помощью фотоприемников 4, производится в дальнейшем с помощью блока электронной обработки сигналов (на фиг. 1 и 2 не показан).

Формула изобретения

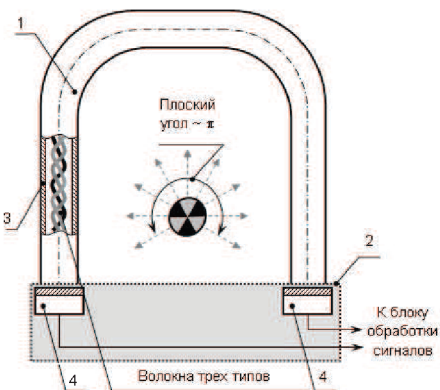
1. Световолоконный сцинтилляционный детектор, содержащий сборку сцинтилляционных волокон, предназначенных для регистрации гамма-излучения (волокон $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$), и фотоприемное устройство, находящиеся в оптическом контакте друг с другом, отличающийся тем, что сборка сцинтилляционных волокон дополнительно содержит волокна для регистрации тепловых нейтронов и волокна для регистрации быстрых нейтронов, помещена в единую оболочку с внутренним светоотражающим покрытием, выполнена в виде сцинтилляционного кабеля и имеет форму кольца или арки, а фотоприемное устройство состоит из двух фотоприемников, расположенных в противоположных торцах сборки сцинтилляционных волокон.

2. Световолоконный сцинтилляционный детектор по п. 1, отличающийся тем, что волокна для регистрации быстрых нейтронов выполнены из водородсодержащего пластика, а волокна для регистрации тепловых нейтронов выполнены из ^6Li -содержащего силикатного стекла, активированного Ce^{3+} .

3. Световолоконный сцинтилляционный детектор по п. 1, 2, отличающийся тем, что между фотоприемниками и сборкой сцинтилляционных волокон дополнительно введен сместитель спектра.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент №. 2331086 РФ. Рабочее вещество для термоэкоэлектронной дозиметрии / А. И. Слесарев, В. Ю. Иванов, А. В. Ищенко, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, А. В. Чепкасова, М. Кобаяши. Заявл. 09.04.2007; опубл. 10.08.2008. Бюл. №22.

Реферат

Применение: для контроля радиационной обстановки в местах испытания и функционирования импульсных электронных пушек и электронно-лучевой техники. Сущность: рабочее вещество для термоэкоэлектронной дозиметрии электронного излучения на основе ортосиликата гадолиния с добавкой оксида церия, имеет состав, мол. %: Gd_2SiO_5 97,0 – 99,9; Ce_2O_3 0,1 – 3,0. Технический результат: понижение температуры основного рабочего пика ТЭЭ до 48°С при флюенсах электронов 10^{10} – 10^{13} см⁻² и до 75 – 79°С при флюенсах электронов 10^{13} – 10^{15} см⁻², повышение скорости снятия дозиметрической информации при ее считывании с рабочего вещества для термоэкоэлектронной дозиметрии.

Описание изобретения

Изобретение относится к области термоэкоэлектронной дозиметрии электронных пучков, создаваемых импульсными трубками (пушками) с повышенным выходом электронов за импульс (от 10^{12} электрон/(имп·см²)) и с повышенным флюенсом до 10^{14} – 10^{15} см⁻², а также для контроля радиационной обстановки в местах испытания и функционирования импульсных электронных пушек и электроннолучевой техники.

При испытаниях импульсных электронных пушек с выходом электронов в импульсе от 10^{12} электрон/(имп·см²) при длительности импульса порядка единиц наносекунд оценка дозы излучения, создаваемой этими пушками, может быть проведена только с использованием интегральных дозиметрических методов, поскольку on line методы (в режиме реального времени), применяемые в дозиметрической практике, например, сцинтилляционные методы не обладают необходимой загрузочной способностью, чтобы регистрировать электронные пучки с высокой плотностью потока и таким высоким флюенсом. Загрузочная способность сцинтилляционных детекторов обычно составляет 10^5 – 10^6 имп/с. Необходимо применение интегральных методов дозиметрии. Одним из интегральных методов, применяемых для дозиметрии электронных пучков, является метод термоэкоэлектронной дозиметрии. При применении метода термоэкоэлектронной дозиметрии для оперативных (быстрых) измерений дозы радиации требуются чувствительные к излучению рабочие вещества, имеющие температуру основного рабочего пика термостимулированной экоэлектронной эмиссии (ТЭЭ) не намного (не более 30 – 60 градусов), превышающую комнатную температуру, при которой проводят облучение рабочего вещества и происходит накопление дозиметрической информации. При наличии только высокотемпературных рабочих пиков ТЭЭ (> 100 – 300°С) требуется достаточно большое время как для нагрева рабочего вещества при считывании дозиметрической информации, так и для его охлаждения до исходной комнатной температуры, что не позволяет проводить оперативные (быстрые) измерения дозы радиации, измерения флюенса. Для ускорения процесса считывания дозиметрической информации для рабочих веществ, требующих высокотемпературной стимуляции можно применять ускоренный нагрев (до 5 град/с, как это делается в работе Кука (X-ray-Inducted Thermally stimulated luminescence of cerium doped gadolinium oxyorthoSilicate / D. W. Cooke, B. L. Bennett, K. J. McClellan, J. M. Roper // Radiation Measurements. 2001. Vol. 33. P. 403–408.)), однако D. W. Cooke применял метод не термоэкоэлектронной эмиссии, а метод термолумinesцентной (ТЛ) дозиметрии. При быстрой термостимуляции наблюдается смещение пиков ТЛ в сторону более высоких температур и частичное искажение накопленной дозиметрической информации, в сравнении с широко применяемым режимом умеренного нагре-

ва (0,1–1 град/с (Патент 2282212 РФ, МПК G01T 1/11, опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.)). Кроме того, в случае наличия высокотемпературных пиков ТЭЭ или ТЛ, для уменьшения времени охлаждения рабочего вещества до исходной комнатной температуры (при приведении вещества в состояние рабочей готовности) требуется применение систем принудительного охлаждения. Однако такие системы существенно усложняют конструкцию ТЭЭ-дозиметра. Альтернативным способом уменьшения времени нагрева рабочего вещества при считывании дозиметрической информации и уменьшения времени его охлаждения до исходной комнатной температуры является применение рабочих веществ с пониженной температурой основного рабочего пика ТЭЭ. Именно такие рабочие вещества для ТЭЭ-дозиметрии позволяют осуществлять оперативные (быстрые) измерения дозы радиации без искажения накопленной дозиметрической информации и без усложнения конструкции ТЭЭ-дозиметра.

Известно рабочее вещество для ТЭЭ-дозиметрии (Слесарев А. И. [и др.] // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26, вып. 9. С. 60 – 64) на основе LiF. Известное рабочее вещество рассчитано на накопление дозиметрической информации при комнатной температуре. Для считывания дозиметрической информации известное рабочее вещество нагревают до температуры, превышающей температуру пиков ТЭЭ, максимумы которых расположены при 90, 126, 148, 270, 337 и 464°C. Недостатком известного рабочего вещества является то, что его рабочие пики ТЭЭ расположены при сравнительно высоких температурах (90, 126, 148, 270, 337 и 464°C). Последнее требует достаточно большого времени как для нагрева рабочего вещества при считывании дозиметрической информации (при стандартных режимах термостимуляции – скорость нагрева 0,1–1 град/с (Патент 2282212 РФ, МПК G01T 1/11, опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.)), так и для его охлаждения до исходной комнатной температуры (при приведении вещества в состояние рабочей готовности).

Известно применение ортосиликата гадолиния, активированного церием (X-ray-Inducted Thermal stimulated luminescence of cerium doped gadolinium oxyorthoSilicate / D. W. Cooke, B. L. Bennett, K. J. McClellan, J. M. Roper // Radiation Measurements. 2001. Vol. 33. P. 403–408.) для термолюминесцентной дозиметрии с полосой свечения при 440 нм. Однако в вышеупомянутой работе сведений об экзэмиссионных свойствах ортосиликата $Gd_2SiO_5:Ce$ не имеется.

Известно рабочее вещество для ТЭЭ-дозиметрии электронного излучения на основе оксида иттрия и нитрида алюминия (Патент 2282212 РФ, МПК G01T 1/11, опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23.), имеющее состав, об. %: AlN 97–98; Y_2O_3 2 – 3. Известное рабочее вещество рассчитано на накопление дозиметрической информации при комнатной температуре. Для считывания дозиметрической информации известное рабочее вещество нагревают со скоростью нагрева 0,1–1 град/с до температуры, превышающей температуру пиков ТЭЭ, максимумы которых расположены при 78, 107,9, 151,4, 174,0, 282,0°C. Недостатком известного рабочего вещества является то, что его рабочие пики ТЭЭ расположены при сравнительно высоких температурах (78, 107,9, 151,4, 174,0, 282,0°C, причем основной пик ТЭЭ расположен при температуре выше 100°C). Последнее требует достаточно большого времени как для нагрева рабочего вещества (при считывании дозиметрической информации при стандартных режимах термостимуляции – скорость нагрева 0,1–1 град/с), так и для его охлаждения до исходной комнатной температуры (при приведении вещества в состояние рабочей готовности).

Из всех известных рабочих веществ для ТЭЭ-дозиметрии наиболее близким к заявляемому по исполняемым функциям и типу основы (оксидная основа) является рабочее вещество для ТЭЭ-дозиметрии на оксидной основе, содержащее оксиды Al_2O_3 и Cr_2O_3 (Цинцадзе З. Г. [и др.] // Сообщения АН Грузинской ССР. 1976. Т. 84, № 2. С. 341). Известное рабочее вещество рассчитано на накопление дозиметрической информации при комнатной температуре. Для считывания дозиметрической информации известное

рабочее вещество нагревают со скоростью 0,1–1 град/с до температуры, превышающей температуру пиков ТЭЭ, максимумы которых расположены при 127 и 227°C. Недостатком известного рабочего вещества является то, что его рабочие пики ТЭЭ расположены при сравнительно высоких температурах (127 и 227°C). Последнее требует достаточно большого времени как для нагрева рабочего вещества (при считывании дозиметрической информации при стандартных режимах термостимуляции – скорость нагрева 0,1–1 град/с), так и для его охлаждения до исходной комнатной температуры (при приведении вещества в состояние рабочей готовности).

Задачей настоящего изобретения является разработка рабочего вещества для термоэкоэлектронной дозиметрии электронного излучения, особо для дозиметрии импульсных электронных пучков с повышенной плотностью потока, имеющего основной рабочий пик ТЭЭ не намного (не более 30 – 60 градусов) превышающий комнатную температуру, что обеспечит сокращение времени нагрева такого рабочего вещества при снятии дозиметрической информации и времени его охлаждения до исходной температуры при приведении вещества в состояние рабочей готовности.

Сущность предлагаемого рабочего вещества для термоэкоэлектронной дозиметрии электронного излучения на оксидной основе заключается в том, что в качестве рабочего вещества выбирают активированный церием ортосиликат гадолиния, так что рабочее вещество имеет состав, мол. %: Gd_2SiO_5 97,0 – 99,9; Ce_2O_3 0,1 – 3,0.

Рабочее вещество при регистрации электронных пучков с флюенсом до 10^{13} см^{-2} обладает основным рабочим пиком ТЭЭ при температуре 48°C и дополнительными (в два и более раз менее интенсивными) пиками ТЭЭ при 75 – 79 и 120°C. Наличие низкотемпературного пика ТЭЭ при 48°C при стандартных режимах термостимуляции в 2 – 3 раза снижает время, требуемое на нагрев рабочего вещества (при снятии дозиметрической информации) и охлаждение до исходной температуры (при приведении вещества в состояние рабочей готовности) и делает возможным проведение оперативного съема дозиметрической информации.

Предлагаемое рабочее вещество для термоэкоэлектронной дозиметрии электронного излучения – силикат гадолиния, активированный церием – имеет состав, мол. %: Gd_2SiO_5 97,0 – 99,9; Ce_2O_3 0,1 – 3,0. Основные параметры термостимулированной экзоэлектронной эмиссии рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии на основе ортосиликата гадолиния для различных флюенсов электронов приведены в табл. (температура T_m пиков ТЭЭ и значения интенсивности экзоэмиссионного тока $I_{TЭЭ}$) и на фиг. 1 и 2. Основной рабочий пик ТЭЭ при регистрации электронных пучков с флюенсом от 10^{10} до 10^{13} см^{-2} находится при температуре 48°C, его интенсивность в 2 – 3,5 раза превышает интенсивность остальных пиков ТЭЭ. При флюенсах более 10^{13} см^{-2} вплоть до 10^{14} см^{-2} пик ТЭЭ при 48°C смещается в сторону более высоких температур до 55°C, доминирующим пиком ТЭЭ становится пик при 75 – 79°C, фиг. 2, табл. 1. Это позволяет расширить диапазон регистрируемых флюенсов до 10^{14} – 10^{15} см^{-2} . Появляющийся дополнительный пик ТЭЭ при 155 – 160°C не влияет на скорость снятия дозиметрической информации, поскольку и в случае флюенса 10^{14} см^{-2} (фиг. 2) и флюенса 10^{14} см^{-2} кривая ТЭЭ аналогичны и нагрев образца достаточно проводить лишь до 100 – 110°C.

Пример 1. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, мол. %: Gd_2SiO_5 99,5; Ce_2O_3 0,5. Плотность 6,71 г/см³. Коэффициент преломления 1,85. Температура плавления 1900°C. Твердость (по Моосу) 5,7. Использовали рабочее вещество в виде бесцветных прозрачных кристаллов, выращенных по методу Чохральского, имеющих размер 4×3×3 мм³. Измерения ТЭЭ выполнены на автоматизированном экзоэмиссионном спектрометре (АЭЭС) в вакууме ~10 – 5 Па. Измерительный тракт экзоэмиссионного спектрометра включает в себя систему термостимуляции, обеспечивающую линейный нагрев образцов в диапазоне 10⁻⁵00°C со скоростью 0,1–1,0 град/с и термостатирование. Спектрометр имеет систему возбуждения, состоящую из электронной пушки (энергия –

150 кВ; плотность тока – 150 А/см^2 ; длительность импульса 10 нс; флюенс электронов за один импульс – 10^{12} см^{-2}). Измерения экзоэмиссии были проведены для образцов, облученных электронами с флюенсами от 10^{13} и 10^{14} см^{-2} , т. е. для образцов, облученных десятью и сотней импульсов электронов. Результаты измерений приведены на фиг. 1 и 2. Для рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии вышеуказанного состава термоэкзоэмиссионные характеристики приведены в табл. 1 для флюенса 10^{13} и 10^{14} см^{-2} . В табл. 1 указаны позиции максимумов пиков ТЭЭ (T_m) при 48, 79 и 120°C и соответствующие им интенсивности экзоэмиссионного тока $I_{TЭЭ}$. Основным достоинством предлагаемого рабочего вещества для ТЭЭ на основе ортосиликата гадолиния является пониженная температура его основного рабочего пика, равная 48°C при измерении флюенсов до 10^{13} см^{-2} . Возможно измерение флюенсов электронов 10^{14} – 10^{15} см^{-2} , однако при этом пик при 48°C (смещается до 55°C) насыщается при флюенсе 10^{13} см^{-2} , перестает быть доминирующим. Доминирует пик ТЭЭ при 75 – 79°C , фиг. 2, табл. 1, который становится основным рабочим пиком. Предлагаемое рабочее вещество чувствительно также к гамма- и рентгеновскому излучению.

Пример 2. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, мол. %: Gd_2SiO_5 97,0; Ce_2O_3 3,0. Основные физико-химические свойства рабочего вещества такие же, как в примере 1. Однако кристаллы имели слегка желтоватую окраску. Измерения характеристик рабочего вещества данного состава проводились так же как в примере 1 первоначально для диапазона флюенсов 10^{10} – 10^{13} см^{-2} . Пониженный флюенс получали с помощью диафрагмы. Позиции пиков ТЭЭ расположены при температурах близких к температурам пиков ТЭЭ рабочего вещества в примере 1, а именно при 48 – 50 , 80 и 125°C . Основным рабочим пиком остается пик ТЭЭ при 48 – 50°C . Линейный диапазон измеряемых флюенсов электронов по пику ТЭЭ при 48°C составляет 10^{10} – 10^{13} см^{-2} . Этот диапазон может быть расширен до 10^{14} – 10^{15} см^{-2} при использовании в качестве рабочего пика ТЭЭ пик при 75 – 79°C , который при флюенсах, превышающих 10^{13} см^{-2} становится доминирующим (фиг. 2).

Пример 3. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, мол. %: Gd_2SiO_5 99,9; Ce_2O_3 0,1. Измерения характеристик кристаллического рабочего вещества данного состава проводились так же, как в предыдущем примере. Кристаллы имели те же размеры, что и в примере 1 и были бесцветны. Позиции пиков ТЭЭ для флюенсов электронов 10^{10} – 10^{13} см^{-2} расположены при температурах близких к температурам пиков ТЭЭ рабочего вещества, описанного в примере 1, а именно пики ТЭЭ расположены при температурах 48 – 52 , 80 и 120 – 130°C . Основным рабочим пиком остается пик ТЭЭ при 48 – 52°C . Линейный диапазон измеряемых флюенсов электронов по пику ТЭЭ 48°C составляет 10^{10} – 10^{13} см^{-2} . Этот диапазон может быть расширен до 10^{14} – 10^{15} см^{-2} при использовании в качестве рабочего пика ТЭЭ пик при 75 – 79°C .

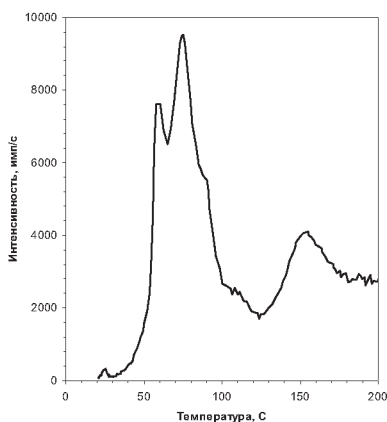
Пример 4. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, мол. %: Gd_2SiO_5 99,95; Ce_2O_3 0,05. Измерения экзоэмиссионных характеристик рабочего вещества данного состава для ТЭЭ дозиметрии в виде кристаллов размерами $4 \times 3 \times 3 \text{ мм}^3$ проводились так же, как в примере 1. Однако чувствительность данного рабочего вещества к флюенсу электронов оказалась на 25 – 30 % ниже, чем в примере 1, из-за низкого содержания церия.

Пример 5. Рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет состав, мол. %: Gd_2SiO_5 96; Ce_2O_3 4. Измерения характеристик кристаллического рабочего вещества данного состава проводились так же, как в примере 1. Однако чувствительность данного рабочего вещества к флюенсу электронов оказалась на 15 – 20 % ниже, чем в примере 1, а пики ТЭЭ смещались в сторону более высоких температур, что увеличило время считывания дозиметрической информации.

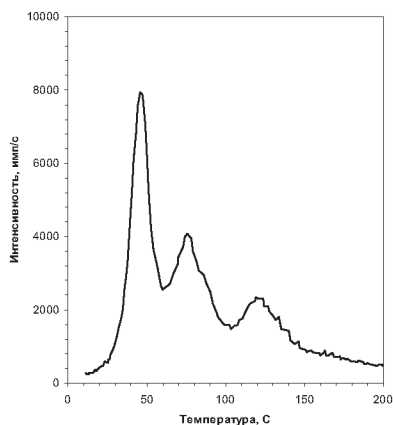
Синтез всех кристаллических образцов ортосиликата гадолиния был проведен методом Чохральского.

Формула изобретения

Рабочее вещество для термоэлектронной дозиметрии электронного излучения на оксидной основе, отличающееся тем, что в качестве оксидной основы использован ортосиликат гадолиния с добавкой оксида церия при следующем соотношении компонентов, мол. %: Gd_2SiO_5 97,0 – 99,9; Ce_2O_3 0,1 – 3,0.



Фиг. 1



Фиг. 2

Характеристики рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии, имеющего состав, мол. %: Gd_2SiO_5 99,5; Ce_2O_3 0,5

Флюенс 10^{13} см^{-2}		Флюенс 10^{14} см^{-2}	
$T_m, ^\circ\text{C}$	$I_{TЭЭ}, \text{имп/с}$	$T_m, ^\circ\text{C}$	$I_{TЭЭ}, \text{имп/с}$
48	8000	55	7650
75 – 79	4000	75 – 79	9500
120	2300	120	2100
—	—	155	4000

Патент № 2334998 РФ. Способ комбинированного считывания накопленной дозиметрической информации из твердотельных детекторов ионизирующих излучений на основе монокристаллического оксида бериллия / И. И. Мильман, А. В. Кружалов, В. Ю. Иванов, Д. С. Таусенев. Заявл. 02.04.2007; опубл. 27.09.2008. Бюл. № 27.

Реферат

Способ считывания накопленной дозиметрической информации из твердотельных детекторов ионизирующих излучений на основе монокристаллического оксида бериллия.

Цель изобретения – повышение точности, надежности и достоверности регистрации накопленных доз за счет измерения дозиметрической информации с одного и того же облученного детектора по двум независимым каналам. Для этого необходимо сначала измерить сигнал оптически стимулированной люминесценции, а затем – сигнал термостимулированной люминесценции.

Способ включает предварительное облучение экспонированного детектора при комнатной температуре оптическим излучением с плотностью энергии 5 – 20 мВт/см² в диапазоне длин волн 350 – 550 нм в течение 2-10 минут и регистрацию про этом сигнала оптически стимулированной люминесценции и последующее измерение сигнала термостимулированной люминесценции с того же детектора.

Использование: ОСЛ-ТЛ – считывание накопленной дозиметрической информации с возможностью ее накопления и резервирования в разных каналах.

Технический результат – повышение точности, надежности и достоверности регистрации доз, упрощение процедуры их измерения за различные промежутки времени, продление ресурса детекторов.

Описание изобретения

Изобретение относится к способам измерения накопленного дозиметрического сигнала, основанных на явлениях термостимулированной и оптически стимулированной люминесценции, использующих в качестве чувствительного вещества детекторов оксид бериллия, оно может быть использовано для повышения надежности, точности и достоверности проводимых измерений, упрощения процедуры считывания.

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике получил широкое распространение метод термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД). Недостатком этого метода, является то, что сам процесс считывания дозиметрической информации является «разрушающим», но допускающим в ряде специальных случаев ее восстановление или повторную оценку в случае отказа регистрирующей аппаратуры или появления необходимости повторного измерения дозы.

Известные способы повторного считывания дозиметрической информации с одного и того же детектора (B. Mukherjee and K.E. Duftschmid. Re-estimation of Low Level Ray Doses Detected by Lithium Fluoride Thermoluminescence Dosimeters. Radiat. Prot. Dosim. 14, 41-45 (1986); В.С. Кортов и др. Способ повторного измерения дозиметрического термолюминесцентного сигнала в твердотельных детекторах ионизирующих излучений, Патент РФ № 2275655), основываются на оптически стимулированном переселении зарядов из глубоких ловушек на основную дозиметрическую. При этом процедура измерения включает три этапа: первое измерение ТЛ, оптически стимулированное переселение зарядов из глубоких ловушек на основные, дозиметрические и повторное измерение ТЛ (фототрансферная ТЛ (ФТТЛ)). Из приведенных выше примеров следует, что известные способы повторного измерения дозиметрического термолюминесцентного сигнала в твердотельных детекторах ионизирующих излучений позволяют повысить за счет этого надежность, точность и достоверность дозиметрической информации.

В последние годы оптически стимулированная люминесценция (ОСЛ) становится все более популярным методом регистрации ионизирующих излучений, а ее физические и аппаратные аспекты активно развиваются в ведущих дозиметрических лабораториях мира (L. Botter-Jensen, S.W.S. McKeever A. G. Wintle. *Optically stimulated Luminescence Dosimetry*. Elsevier Science B.V. 355- P, (2003); N.J.M. Le Masson. *Development of Optically stimulated Luminescent materials for personal fast neutron dosimetry*. Delft University Press. 168 - P, (2003); T. Hashimoto, T. Nakagawa, D -G. Hong and M. Takano. *An Automated Sistem for Red/Blue Thermoluminescence and Optically stimulated Luminescence Measurement*. Journ. of Nuclear Science and Tecnology, Vol. 39, No 1.pp. 108-109 (2002).

В качестве основных преимуществ ОСЛ дозиметрии, при сравнении ее с традиционной термолюминесцентной, считают отсутствие необходимости нагрева детекторов и связанных с ним проблем: обеспечение разнообразных и воспроизводимых законов изменения температуры, термическое тушение люминесценции, приводящее к зависимости выхода ТЛ от скорости нагрева, тепловое излучение нагретых элементов блока детектирования. Недостатком этого метода, является то, что процесс считывания дозиметрической информации является «разрушающим», поскольку при оптической стимуляции опустошаются те же ловушки, что и при ТЛ. Комбинация двух этих методов считывания: первое измерение по каналу ОСЛ, второе - по ТЛ, из одного и того же детектора позволило бы упростить процедуру считывания за счет исключения одного этапа измерения ТЛ из трех, необходимых в методе повторного измерения дозиметрической информации с применением фототрансферной ТЛ.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому следует считать способ повторного измерения дозиметрического термолюминесцентного сигнала в твердотельных детекторах ионизирующих излучений, описанный в Патенте РФ № 2275655, который и выбран в качестве прототипа.

В способе, принятом за прототип:

1. Перед измерениями детекторы на основе оксида алюминия нагревают до температуры 900 – 950°C, выдерживают при этой температуре 10^{-15} минут и охлаждают до комнатной температуры.

2. Облучают детекторы ионизирующим излучением и производят первое считывание ТЛ с высокой скоростью нагрева, равной 8-30°C/с.

3. После первого считывания ТЛ, детекторы облучают при комнатной или повышенной до 80 – 90°C температуре световым потоком с плотностью энергии в месте расположения детекторов 5 – 15мВт/см² в диапазоне длин волн 300 – 500нм в течение 10^{-15} минут.

4. Повторное считывание ТЛ (ФТТЛ) производят с низкой скоростью нагрева, равной 0,4-1,0°C/с.

Общим недостатком как принятого за прототип, так и описанных выше способов, является необходимость выполнения трех этапов для повторного считывания дозиметрической информации, что приводит к увеличению времени обработки детекторов. Кроме того, два из этих этапа для увеличения чувствительности связаны с нагревом детекторов с разными скоростями при первом и втором считываниях термолюминесценции, что усложняет процедуру измерения. Применение для первого и второго считываний одного явления – термолюминесценции приводит к необходимости дважды нагревать детектор до относительно высоких температур, что снижает ресурс его эксплуатации за счет деградации свойств материала детектора.

Известный способ (прототип), как и его аналоги, не могут быть применены для комбинированного считывания дозиметрической информации при использовании детекторов на основе В₂О₃ и многих других типов высокочувствительных детекторов, выход фототрансферной ТЛ которых имеет неоднозначный характер из-за наличия нескольких пиков на кривой термовысвечивания в диапазоне измерения, делая тем самым невоз-

можным повышение надежности, точности и достоверности проводимых измерений, упрощение процедуры считывания. Так, например, на кривой термовысвечивания детекторов на основе монокристаллической формы оксида бериллия обнаруживается два пика около 250 и 170°C ($\beta = 0,3 \text{ K}\backslash\text{с}$). Фотостимулированное переселение носителей с глубоких ловушек в этом случае приводит к заселению ловушек, ответственных за оба пика ТЛ, в нелинейных по концентрации соотношениях, из-за разных сечений захвата носителей ловушками, повторное измерение дозы известным способом (прототип) становится невозможным.

Решение поставленной задачи достигается тем, что:

1. Перед измерениями детекторы на основе оксида бериллия нагревают до температуры 450°C.

2. Облучают детекторы ионизирующим излучением и производят первое считывание накопленной дозы путем регистрации ОСЛ, индуцированной световым потоком с плотностью энергии в месте расположения образца 5 – 20 мВт в диапазоне длин волн 350 – 550 нм в течение 5 – 15 минут.

3. Повторное считывание дозиметрической информации с этого же детектора производится по стандартной методике путем измерения ТЛ 270°C пика.

Термообработка перед измерениями, режим которой приведен в пункте 1, обусловлена необходимостью опустошения ТЛ – ловушек, частичное заполнение которых могло быть связано с радиационной предысторией детекторов.

Диапазон плотности энергии светового потока 5 – 20 мВт/см², приведенный в пункте 2, обеспечивает эффективное опустошение ловушек, ответственных за ТЛ пик при 170°C при возможности использования компактной и относительно недорогой аппаратуры.

Диапазон длин волн 350 – 550 нм (пункт 2) обеспечивает оптически стимулированное опустошение ловушек, ответственных за ТЛ пик при 170°C не изменяя концентрацию носителей в ловушках, ответственных за пик при 270°C, регистрируемый при втором считывании (пункт 3).

Сущность предлагаемого изобретения заключается в следующем.

Способ считывания накопленной дозиметрической информации из твердотельных детекторов ионизирующих излучений на основе монокристаллического оксида бериллия, включающий считывание термолюминесцентного сигнала, отличающийся тем, что сначала экспонированный детектор облучают при комнатной температуре оптическим излучением с плотностью энергии 5 – 20 мВт/см² в диапазоне длин волн 350 – 550 нм в течение 5 – 15 минут и регистрируют дозиметрический сигнал оптически стимулированной люминесценции, после чего, этот же детектор нагревают до температуры 4000С и регистрируют дозиметрический сигнал термостимулированной люминесценции.

В отличие от базовой физической концепции, используемой в решении, принятом за прототип, для детекторов со сложным видом кривой термовысвечивания (два и более ТЛ пиков, BeO, LiF и др) удастся подобрать параметры оптически стимулированного опустошения ловушек, ответственных за более низкотемпературные ТЛ пики, не влияющие на состояния ловушек, связанных с более высокотемпературными ТЛ пиками. В итоге становится возможным комбинированное ОСЛ - ТЛ считывание накопленной дозиметрической информации с одного и того же детектора, первое из которых осуществляется с помощью ОСЛ, а второе - стандартной методикой измерения ТЛ.

Результаты экспериментальной проверки реализации предлагаемого способа считывания накопленной дозиметрической информации из твердотельных детекторов ионизирующих излучений на основе оксида бериллия, раскрывают сущность изобретения, они обобщены и иллюстрируются представленными ниже фигурами.

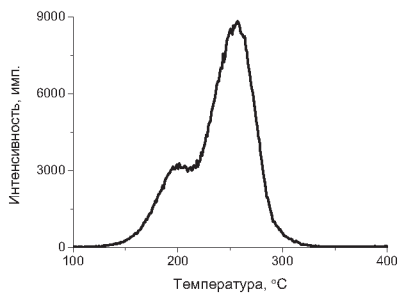
На Фиг. 1. приведена кривая термовысвечивания образца детектора, облученного излучением $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ источника дозой 220мГр, нагретого для измерения ТЛ со скоростью $0,5^\circ\text{C}/\text{с}$. На кривой термовысвечивания присутствуют два ТЛ пика при 200 и 270°C .

Для практической реализации предлагаемого способа использовались образцы детекторов на основе монокристаллов BeO , разработанных в УГТУ-УПИ. Источниками оптического излучения при подборе оптимальных диапазонов длин волн и мощности излучения служили: малогабаритная галогенная лампа КГМ-220 – 800 – 1 с монохроматором МУМ, оптическая система спектрофотометра СФ-26, сборка из 10 светоизлучающих диодов СДК – С469 -5 – 10 с длиной волны излучения 470 нм. Спектральный выход применяемых оптических систем, необходимый для расчета времени экспозиции, определялся с помощью измерителя средней мощности и энергии лазерного излучения типа ИМО-2Н. ОСЛ и ТЛ и регистрировались стандартной аппаратурой. Наилучший результат (Фиг. 2) был получен при использовании в качестве источника оптического излучения сборки из 10 «сверхярких» светоизлучающих диодов с силой света каждого из них от 3500 до 5000 мкд. При этом плотность мощности светового потока на поверхности детектора была равной около $10\text{ мВт}/\text{см}^2$, время экспозиции составляло около 10 мин. Дозиметрический пик ТЛ возбуждался β - излучением $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ источником. При увеличении длины волны стимулирующего света выше 550 нм выход ОСЛ плавно падал и составлял около 20% относительно измеренного при длине волны стимуляции 470 нм. При уменьшении длины волны стимулирующего света эффективность начинал снижаться ТЛ пик при 270°C за счет опустошения соответствующих ему ловушек более коротковолновым светом. При 330 нм интенсивность в пике 270°C составляет 60%, от измеренной при 470 нм. Уменьшение мощности стимулирующего светового потока приводит резкому снижению эффективности ОСЛ. Она падает на величину от 40 до 10% при уровнях плотности энергии светового потока на поверхности детектора 5 до $1\text{ мВт}/\text{см}^2$. При уровнях плотности энергии более $20\text{ мВт}/\text{см}^2$ начинает снижаться ТЛ пик при втором считывании, как это было при укорочении длины волны.

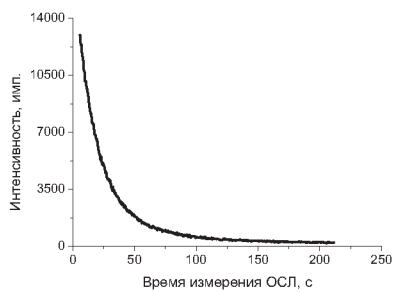
Помимо возможности повторных измерений доз с помощью ОСЛ-ТЛ считываний детекторов на основе монокристаллического оксида бериллия в аварийных ситуациях, предполагаемое изобретение будет полезным при текущем радиационном контроле персонала. Квартальные дозы, например, могут измеряться методом ОСЛ считывания, а годовые – методом измерения ТЛ.

Формула изобретения

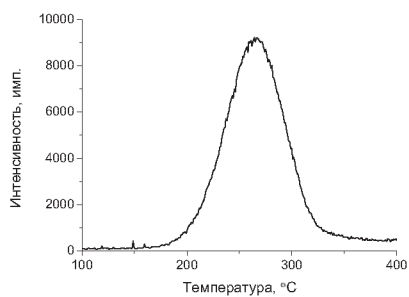
Способ считывания накопленной дозиметрической информации из твердотельных детекторов ионизирующих излучений на основе монокристаллического оксида бериллия, включающий считывание термолюминесцентного сигнала, отличающийся тем, что сначала экспонированный детектор облучают при комнатной температуре оптическим излучением с плотностью энергии $5 - 20\text{ мВт}/\text{см}^2$ в диапазоне длин волн $350 - 550\text{ нм}$ в течение $5 - 15$ минут и регистрируют дозиметрический сигнал оптически стимулированной люминесценции, после чего этот же детектор нагревают до температуры 400°C и регистрируют дозиметрический сигнал термостимулированной люминесценции.



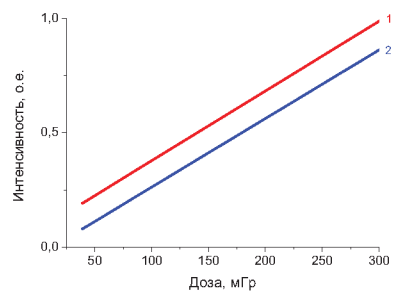
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Патент № 2336294 РФ. Сложный ванадат серебра в качестве люминофора в красной и ближней инфракрасной области свечения и способ его получения / В.Г.Зубков, А. П. Тютюнник, Л. Л. Сурат, Б. В. Слободин, Н. В. Таракина, Б. В. Шульгин, А. В. Ищенко. Заявл. 20.07.2006; опубл. 20.10.2008. Бюл. №29.

Реферат

Изобретение может быть использовано при изготовлении индикаторов и сенсоров ионизирующего и инфракрасного излучения. Готовят исходную смесь ингредиентов, мас. %: AgNO_3 – 39,91–42,28; MCO_3 – 12,46–17,3; где М – Са или Sr; V_2O_5 – 42,74–45,26; тщательным перемешиванием указанных компонентов в присутствии спирта. Затем ее нагревают до 300 – 350°C с выдержкой при этой температуре 2-3 ч. После этого снова нагревают до 480 – 500°C с выдержкой при этой температуре 95 – 105 ч. Порошок брикетируют и термообрабатывают при 490 – 500°C в течение 38-42 ч. Полученный сложный ванадат серебра имеет состав $\text{Ag}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где М - Са или Sr, и люминесцирует в красной и ближней инфракрасной области вплоть до 840 – 850 нм. 2 н.п. ф-лы, 2 ил.

Описание изобретения

Изобретение относится к новому соединению, конкретно к сложному ванадату серебра состава $\text{Ag}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где М - Са или Sr, который может быть использован в качестве люминофора в индикаторах и сенсорах электронного излучения в устройствах и системах индикации и визуализации ионизирующих излучений, особо в системах индикации и визуализации, оснащенных чувствительными в красной и ближней инфракрасной областях спектра фотодиодными регистраторами люминесцентных потоков, а также к способу его получения.

В настоящее время в патентной и научно-технической литературе не описаны сложные ванадаты серебра предлагаемого состава и структуры, а также способ их получения.

Известны люминофоры на основе сложных ванадатов редкоземельных элементов состава $(\text{Y}_{1-d}\text{Tb}_d)\text{VO}_4$: Eu, где ионы Tb могут быть частично замещены ионами Mg, Ca, Sr, Ba, Zn (патент США №6402987, МПК C09K 11/77, 2002 год). Способ получения известных люминофоров включает получение исходной смеси компонентов, в которую могут входить карбонаты, оксиды, оксалаты и/или нитраты соответствующих металлов. Кроме того, смесь содержит флюс или инертный растворитель, например спирт. Исходную смесь обрабатывают в течение 2-х часов в вибрационной мельнице с использованием в качестве мелющих тел оксида циркония, стабилизированного иттрием. Затем полученный порошок сушат и отжигают при температуре 800 – 1300°C в течение 3-х часов на воздухе. Получают люминофоры ультрафиолетовой области свечения.

Таким образом, у известных люминофоров свечение в области 700 – 800 нм практически отсутствует, что не позволяет эффективно использовать их в системах с фотодиодной регистрацией.

Известны сложные ванадаты состава $\text{A}_2\text{Sr}(\text{VO}_3)_4$, где А = Na, K, Rb, Cs, которые могут быть использованы в качестве люминофоров (Б.В.Слободин, Л.Л.Сурат «Фазообразование в системах $\text{Me}_2\text{O-SrO-V}_2\text{O}_5$ », Журнал неорганической химии, 2002, т.47, №8, с.1349). Известные соединения получены методом твердофазного синтеза.

Однако люминесценция известных метаванадов состава $\text{A}_2\text{Sr}(\text{VO}_3)_4$, где А = Na, K, Rb, Cs (Б.В.Слободин, Л.Л.Сурат, В.Г.Зубков, А.П.Тютюнник, Б.В.Шульгин, А.В.Кружалов, В.С.Черемных, А.Н.Тчерепанов, Г.Свенссон, Б.Форслунд. «Some radioluminescence properties of new cyclic alkaline metal-strontium Tetravanadates $\text{M}_2\text{Sr}(\text{VO}_3)_4$, where М = Na, K, Rb, Cs», Book of Abstracts International Conference of Inorganic Scintillators and Their Industrial Application, SCINT 2005, Alushta, Ukraina, P.140) характеризуется свечением в

зеленой области спектра с максимумами полос при 520 – 540 нм. Составы $\text{Rb}_2\text{Sr}(\text{VO}_3)_4$ и $\text{Cs}_2\text{Sr}(\text{VO}_3)_4$ имеют, кроме зеленых полос, дополнительную полосу в красной области спектра с максимумом при 620 нм. Однако инфракрасной люминесценцией (ближний ИК-диапазон) соединения $\text{A}_2\text{Sr}(\text{VO}_3)_4$, где $\text{A} = \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}$, не обладают и перспективы их применения в системах с фотодиодной регистрацией отсутствуют.

Задачей изобретения является разработка состава сложных ванадатов серебра, обладающих свойствами, позволяющими использовать их в качестве люминофоров со свечением в красной и ближней инфракрасной областях спектра.

Поставленная задача решена путем применения нового соединения сложного ванадата серебра состава $\text{Ag}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где $\text{M} - \text{Ca}$ или Sr , в качестве люминофора, излучающего в красной и ближней инфракрасной областях.

Поставленная задача решена также в способе получения сложного ванадата серебра состава $\text{Ag}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где $\text{M} - \text{Ca}$ или Sr , включающем приготовление исходной смеси ингредиентов, содержащей, мас. %: $\text{AgNO}_3 - 39,91-42,28$; $\text{MCO}_3 - 12,46-17,35$; где $\text{M} - \text{Ca}$ или Sr ; $\text{V}_2\text{O}_5 - 42,74-45,26$; тщательным перемешиванием указанных компонентов в присутствии спирта, нагрев приготовленной смеси до $300 - 350^\circ\text{C}$ с выдержкой при этой температуре 2-3 ч, последующий нагрев до $480 - 500^\circ\text{C}$ с выдержкой при этой температуре 95 – 105 ч, после чего порошок брикетируют и термообработывают при $490 - 500^\circ\text{C}$ в течение 38-42 ч.

Особенностью нового соединения $\text{Ag}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где $\text{M} - \text{Ca}$ или Sr , относящегося к пространственной группе P4/nbm , в отличие от известного соединения $\text{A}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где $\text{A} - \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}$; $\text{M} - \text{Ca}, \text{Sr}$; также имеющего пространственную группу P4/nbm , является такое изменение параметров кристаллической решетки (a,b,c), которое вызывает сдвиг спектра экситонной люминесценции в красную и инфракрасную область спектра (см. фиг. 1 и фиг. 2).

Предлагаемый способ может быть осуществлен следующим образом. Для подготовки исходной смеси ингредиентов берут порошкообразные карбонат соответствующего металла (стронция или кальция), пентаоксид ванадия и азотнокислое серебро в соотношении (мас. %): $\text{AgNO}_3 - 39,91-42,28$; MCO_3 (где $\text{M} - \text{Ca}$ или Sr) – 12,46–17,35; $\text{V}_2\text{O}_5 - 42,74-45,26$, тщательно перемешивают в присутствии спирта, затем нагревают до $300 - 350^\circ\text{C}$ и выдерживают при этой температуре в течение 2–3 часов, затем нагревают до $480 - 500^\circ\text{C}$ и выдерживают при этой температуре в течение 95 – 105 ч, затем порошок брикетируют и термообработывают при $490 - 500^\circ\text{C}$ в течение 38 – 42 ч. Готовый продукт подвергают рентгенофазовому и структурному анализам.

Исследования, проведенные авторами, позволили сделать вывод о том, что новое соединение состава $\text{Ag}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где $\text{M} - \text{Ca}$ или Sr , обладающее свойством, которое позволяет использовать его в качестве люминофора в красной и инфракрасной области свечения, может быть получено только при условии соблюдения всех условий и параметров, заявленных в предлагаемом способе, а именно при содержании ингредиентов в исходной смеси более или менее заявленного интервала значений, то есть при содержании азотнокислого серебра менее 39,91 мас. % или более 42,28 мас. %, карбоната соответствующего металла более 17,35 мас. % или менее 12,46 мас. % и пентаоксида ванадия менее 42,74 мас. % или более 45,26 мас. %, а также при выходе за заявленные интервалы значений температур и временные интервалы при осуществлении нагрева и термообработки, конечный продукт представляет собой смесь мета-, пиро- и ортованадатов кальция (или стронция). При этом в спектрах свечения из-за образования дополнительных фаз начинают проявляться зелено-желтые полосы, что снижает эффективность использования их в качестве люминофоров в системах с фотодиодной регистрацией.

Предлагаемое техническое решение иллюстрируется следующими примерами.

Пример 1. Готовят смесь исходных ингредиентов, взятых в следующем соотношении: 5.214 г азотнокислого серебра AgNO_3 (42.28 мас.%), 1.536 г карбоната кальция CaCO_3 (12.46 мас.%) и 5.582 г пентаоксида ванадия V_2O_5 (45.26 мас.%), тщательно перемешивают в присутствии спирта, нагревают до 300°C и выдерживают в течение 3-х часов при этой температуре, затем нагревают до 500°C и выдерживают при этой температуре с периодической перешихтовкой через каждые 10 часов в течение 95 ч, затем порошок брикетируют с последующей термообработкой при 500°C в течение 38 ч с перешихтовкой через каждые 10 ч. Готовый продукт является двойным метаванадатом серебро-кальция $\text{Ag}_2\text{Ca}(\text{VO}_3)_4$. Параметры решетки равны $a = b = 10,4427(2)\text{\AA}$, $c = 4,9673(1)\text{\AA}$, $V = 541,69\text{\AA}^3$. Спектр люминесценции состава $\text{Ag}_2\text{Ca}(\text{VO}_3)_4$ при возбуждении электронным излучением приведен на фиг 1. Спектр люминесценции расположен в красной и ближней инфракрасной области 500 – 850 нм с максимумом при 672,3 нм, полуширина спектра 191,26 нм.

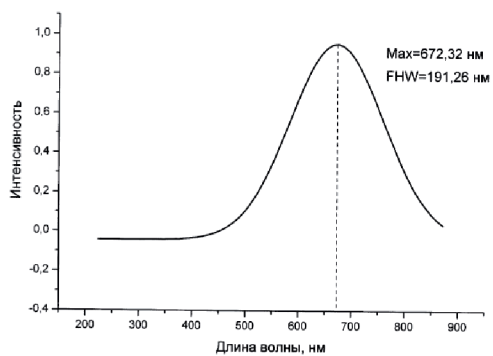
Пример 2. Готовят смесь исходных ингредиентов, взятых в следующем соотношении: 4.859 г азотнокислого серебра AgNO_3 (39.91 мас.%), 2.112 г карбоната стронция SrCO_3 (17.35 мас.%) и 5.204 г пентаоксида ванадия V_2O_5 (42.74 мас.%), тщательно перемешивают в присутствии спирта, нагревают до 350°C и выдерживают в течение 2-х часов при этой температуре, затем нагревают до 480°C и отжигают при этой температуре с периодической перешихтовкой через каждые 10 часов в течение 105 ч, затем порошок брикетируют с последующей термообработкой при 490°C в течение 42 ч с перешихтовкой через каждые 10 ч. Готовый продукт является двойным метаванадатом серебро-стронция $\text{Ag}_2\text{Sr}(\text{VO}_3)_4$. Параметры решетки равны $a = b = 10,6239(2)\text{\AA}$, $c = 4,9789(1)\text{\AA}$, $V = 561,95\text{\AA}^3$. Спектр люминесценции при возбуждении электронным излучением приведен на фиг. 2. Спектр люминесценции расположен в красной и ближней инфракрасной области 500 – 840 нм с максимумом при 660,7 нм, полуширина спектра 165,8 нм.

Таким образом, в соответствии с техническим решением предлагается новое соединение - сложный ванадат серебра состава $\text{Ag}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где М - Са или Sr, в качестве люминофора, который имеет полосу свечения, сдвинутую в красную область на ~ 150 нм по сравнению с известным люминофором, то есть предлагаемое новое соединение и способ его получения обеспечивают получение люминофоров на основе ванадатов, имеющих красный спектр свечения, простирающийся в ближнюю инфракрасную область вплоть до 840 – 850 нм. Такие люминофоры могут быть использованы в системах с фотодиодной регистрацией.

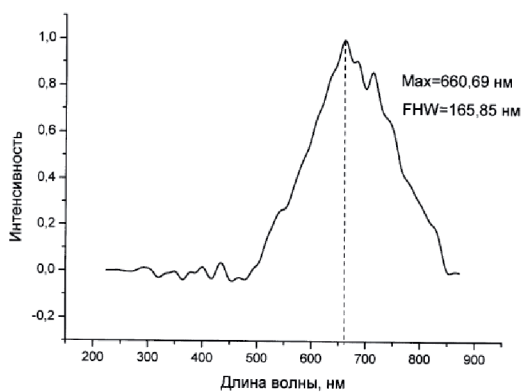
Формула изобретения

1. Сложный ванадат серебра состава $\text{Ag}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где М - Са или Sr, в качестве люминофора, излучающего в красной и ближней инфракрасной области.

2. Способ получения сложного ванадата серебра состава $\text{Ag}_2\text{M}(\text{VO}_3)_4$, где М - Са или Sr, включающий приготовление исходной смеси ингредиентов, содержащей, мас. %: AgNO_3 - 39,91–42,28; MCO_3 - 12,46–17,35, где М - Са или Sr; V_2O_5 - 42,74–45,26; тщательным перемешиванием указанных компонентов в присутствии спирта, нагрев приготовленной смеси до $300 - 350^\circ\text{C}$ с выдержкой при этой температуре 2-3 ч, последующий нагрев до $480 - 500^\circ\text{C}$ с выдержкой при этой температуре 95 – 105 ч, после чего порошок брикетируют и термообработывают при $490 - 500^\circ\text{C}$ в течение 38-42 ч.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент № 2345274 РФ. Способ получения сверхдлительного ультрафиолетового послесвечения люминофоров оптических излучателей на основе BeO и $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$ / А. В. Кружалов, В. Ю. Иванов, И. И. Мильман, Д. В. Райков, Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, И. В. Харитонов. Заявл. 10.05.2007, опубл. 27.01.2009. Бюл. №3.

Реферат

Решаемая задача изобретения - получение компактного, не требующего внешнего источника энергии, нерадиоактивного, регенерируемого люминесцентного излучателя ультрафиолетового диапазона длин волн с длительностью послесвечения несколько месяцев и интенсивностью в течение этого периода достаточной для настройки, юстировки, калибровки оптоэлектронных приборов и оптических систем. Суть способа заключается в том, что оптические излучатели на основе BeO и $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$ облучают излучением рентгеновского диапазона энергий или электронами с энергией 10 – 300 кэВ и дозой 10 – 10^4 Гр, после чего облучение прерывают, а для регенерации снижающейся со временем интенсивности люминесценции до требуемого уровня интенсивности облучение вещества люминофора ионизирующим излучением повторяют многократно. Использование: Радиационная дозиметрия, ядерная спектроскопия, фотометрические исследования с помощью спектрофотометров, флуориметров и других оптико - электронных приборов. Технический результат - упрощение конструкции, повышение уровня радиационной и экологической безопасности.

Описание изобретения

Изобретение относится к способу получения люминесцентных излучателей оптических фотонов ультрафиолетового диапазона длин волн, основанных на длительном послесвечении люминофоров, после прекращения их возбуждения ионизирующим излучением. Оно может быть использовано для настройки фотоприемных трактов в термолюминесцентной дозиметрии, ядерной спектроскопии, при проведении фотометрических исследований с помощью спектрофотометров, флуориметров и других оптических приборов.

В настоящее время распространение получили радиолюминесцентные излучатели (РЛИ) оптических фотонов, представляющие собой фиксированное в пространстве и времени сочетание радиоактивных веществ и люминофора. Основой способа получения оптических фотонов в РЛИ является превращение энергии ионизирующего излучения в веществе люминофора, освобождающейся при распаде радионуклида, в энергию излучения оптического диапазона. Конструкция РЛИ изолирована от внешней среды герметизацией и имеет выходное окно для вывода оптических фотонов. Интенсивность радиолюминесцентного излучения регулируется активностью, типом используемого радионуклида, а его спектральный состав природой радиолюминофора и примеси активаторного иона. В литературе описаны способы получения радиолюминесцентных излучателей (Г.А. Михальченко. Радиолюминесцентные излучатели. М.: Энергоатомиздат, 1988) с использованием твердых, жидких и газообразных сред, преобразующих в реальном времени энергию ионизирующего излучения в энергию оптических фотонов различного спектрального диапазона. Вместе с тем, РЛИ обладают и рядом существенных недостатков, главными из которых являются:

1. Биологическая опасность при долговременных применениях;
2. Потенциальная опасность радиоактивного заражения окружающей среды при разгерметизации в процессе изготовления, эксплуатации, хранения или в результате террористических атак.

3. Дестабилизация радиолюминесцентных характеристик из-за твердофазных химических взаимодействий между радиоактивным веществом и кристаллофосфором, стимулируемых высокой мощностью дозы (0,1-1,0 Гр/с).

Следует отметить, что на практике в подавляющем числе случаев использование РЛИ для поверки и калибровки оптико - электронных приемников носит эпизодический характер, время непосредственной работы с ними несоизмеримо меньше назначенного срока эксплуатации источника. Таким образом, большую часть своего ресурса РЛИ находятся в положении хранения, требующего соблюдения норм и правил хранения радиоактивных источников, что создает дополнительные материальные затраты при организации работ с использованием РЛИ. Поэтому является актуальным создание источников оптических фотонов, способных в определенных случаях заменить РЛИ, без использования в них радиоактивных элементов.

Другой способ получения длительного послесвечения, положенный в основу создания нерадиоактивных люминесцентных излучателей, основан на способности некоторых люминофоров испускать оптические фотоны после прекращения их возбуждения. В приведенной ниже таблице представлены технические данные по химическому составу некоторых светоаккумулирующих люминофоров с длительным послесвечением, их обозначению, спектральной области и времени послесвечения (www.luminophor.ru/new/phlongafter.htm).

Новейший эффективный светоизлучающий люминофор «Пента Л-1» (ТУ 2149-044-40245042 – 2003, www.kraspenta.ru) представляет собой порошок бледного желто-зеленого цвета с размером частиц 1–200 микрон. Спектр возбуждения излучения: видимый или УФ свет, спектр излучения от 420 до 530 нм, период послесвечения до 8 часов.

Из приведенных выше примеров следует, что известные способы возбуждения люминесценции люминофоров позволяют использовать ее в качестве источника оптических фотонов.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому следует считать способ возбуждения длительной люминесценции люминофора «Пента Л-1», т. е. путем предварительного облучения материала фотонным излучением видимого или ультрафиолетового диапазона.

Основным недостатком данного способа является малое время периода послесвечения, невозможность получения свечения в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, применение люминофора в виде порошка и невозможность его компактирования из-за сильного поглощения возбуждающего излучения в плотном материале.

Решение поставленной технической задачи достигается благодаря тому, что для возбуждения длительной люминесценции фосфора используется ионизирующее излучение: рентгеновское или электронное с энергиями 10 – 300 кэВ и дозой 10 – 10⁴ Гр. Для регенерации снижающейся со временем интенсивности люминесценции, облучение вещества люминофора излучателя ионизирующим излучением повторяют многократно.

Нижняя граница энергии ионизирующего излучения обусловлена необходимостью возбуждения достаточного количества объемных слоев люминофора за счет проникающей способности возбуждающего излучения. Верхняя граница энергии ионизирующего излучения обусловлена необходимостью объемного возбуждения люминофора толщиной 1 – 2 мм, не приводя при этом к химической деструкции материала люминофора, образованию новых дефектов, способных изменить требуемые свойства материала. Нижняя граница дозы облучения связана с минимальным уровнем послесвечения люминофора, пригодного для обнаружения оптико-электронными приемниками. Верхняя граница дозы облучения связана с насыщением излучательной способности люминофоров.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в следующем.

В предлагаемом способе материал люминофора облучается при комнатной температуре рентгеновским или электронным излучением в выбранном диапазоне энергий и доз. Образовавшиеся под действием излучения свободные заряды, электроны и дырки, будут захватываться ловушками, обусловленными собственными или примесными дефектами, всегда присутствующими в материале люминофора. Для получения послесвечения требуемой длины волны в люминофор специально вводят активаторную примесь. Среди ловушек, захвативших свободные заряды, будут и такие, энергетическая глубина которых относительно невелика, и они будут термически нестабильны при комнатной температуре. Такие ловушки спонтанно во времени будут терять захваченные носители, рекомбинация которых с зарядами противоположного знака сопровождается люминесценцией. Длительность послесвечения регулируется дозой облучения, а спектральный состав природой материала фосфора. Интенсивность свечения и его регенерацию можно задавать на любом уровне многократным облучением ионизирующим излучением.

В результате применения описанного способа удастся получить компактный, автономный, нерадиоактивный, регенерируемый люминесцентный излучатель оптических фотонов, в том числе и ультрафиолетового диапазона длин волн с длительностью послесвечения более одного года. Излучатель может иметь форму пластины с площадью поверхности около 1 см^2 и толщиной 1 мм , что делает удобным его помещение в малогабаритные и труднодоступные места оптических систем.

Реализация предлагаемого способа получения сверхдлительного ультрафиолетового послесвечения люминофоров на основе BeO и $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$ –стекла иллюстрируется представленными ниже рисунками.

1. Образцы и оборудование

Для проверки работоспособности предлагаемого метода использовались образцы промышленно выпускаемой керамики на основе BeO и стекол $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$. Образцы представляли собой плоскопараллельные пластинки толщиной около 1 мм и площадью поверхности около 1 мм^2 . Облучение проводилось с помощью рентгеновского аппарата типа УРС-55 или импульсного электронного ускорителя типа Мира-2Д, снабженного трубкой с выпуском электронов. Интегральное свечение регистрировалось фотоэлектронным умножителем типа ФЭУ-142, спектральный состав свечения измерялся с помощью монохроматора ДМР-4.

2. Методика реализации предлагаемого способа

2.1. На Фиг. 1 приведены зависимости интенсивности фосфоресценции BeO от времени для трех значений доз ($5 \cdot 10^2$, кривая 1; $5 \cdot 10^3$, кривая 2 и $5 \cdot 10^3 \text{ Гр}$, кривая 3) после окончания предварительного облучения рентгеновским излучением (40 кВ , 10 мА , W). Видно из Фиг. 1, что с ростом дозы облучения увеличивается интенсивность и длительность послесвечения. Область с особенно медленным затуханием фосфоресценции, при $T > 10^5 \text{ с}$ экстраполируется уравнением:

$$I(T) = 3,1 \cdot 10^4 / T^{0,38},$$

где $I(T)$ – интенсивность люминесценции, имп/с ; T – время после окончания облучения, с .

Анализ уравнения для $I(T)$ показывает, что измеряемая интенсивность фосфоресценции, на порядок превышающая собственный фон использованного фотоприемника, равный 10^{-2} имп/с , может быть обнаружена спустя 2 года после облучения. На практике этот период уверенной регистрации послесвечения BeO был равен приблизительно одному году.

2.2. На Фиг. 2 приведены спектры фосфоресценции (кривая 2) и рентгенолюминесценции (кривая 1) BeO . Видно, что фосфоресценция происходит в области ультрафиолетового диапазона длин волн. Сходство спектров излучения при рентгенолюминесценции и фосфоресценции показывает, идентичность механизмов их возникновения.

2.3. На Фиг. 3 приведен спектр фосфоресценции литиевого стекла, легированного церием $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$. В этом случае спектральный диапазон длительной люминесценции также соответствует ультрафиолетовому диапазону и определяется свечением ионов церия, как это подтверждается данными по рентгенолюминесценции.

2.4. На Фиг. 4 приведен фрагмент изменения интенсивности свечения во времени $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$ стекла спустя 48 часов после возбуждения электронным пучком дозой 10 Гр. Видно, что интенсивность свечения в 100 – 200 раз превышает собственный фон фотоэлектронного умножителя.

Приведенные фигуры показывают возможность получения сверхдлительного ультрафиолетового послесвечения люминофоров малогабаритных, регенерируемых излучателями оптических фотонов на основе BeO и $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$, не связанной с применением радиоактивных изотопов

Фиг. 1. Зависимости интенсивности фосфоресценции BeO от времени для трех значений доз ($5 \cdot 10^2$, кривая 1; $5 \cdot 10^3$, кривая 2 и $5 \cdot 10^3$ Гр, кривая 3) после окончания предварительного облучения рентгеновским излучением (40кВ, 10мА, W).

Фиг. 2. Спектры фосфоресценции (2) и рентгенолюминесценции (1) BeO .

Фиг. 3. Спектр фосфоресценции литиевого стекла, легированного церием $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$.

Фиг. 4. Изменение интенсивности свечения во времени $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$ стекла спустя 48 часов после возбуждения электронным пучком дозой 10 Гр.

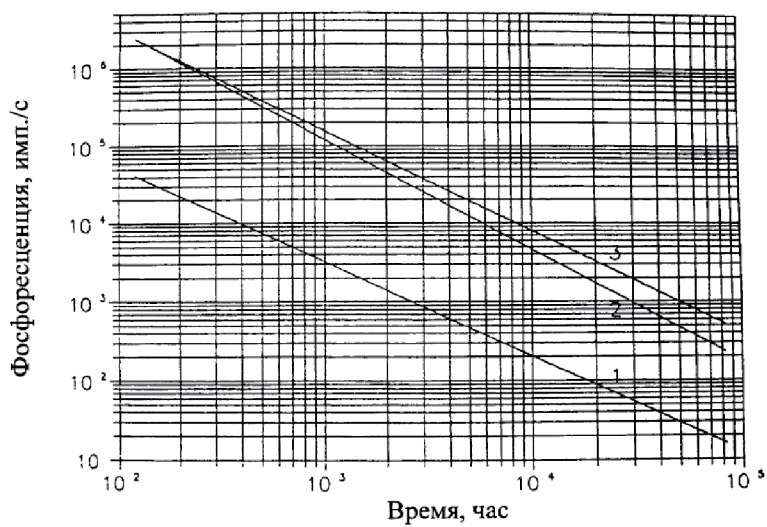
Формула изобретения

Способ получения длительного ультрафиолетового послесвечения люминофоров оптических излучателей на основе BeO и $\text{Li}_2\text{O-MgO-SiO}_2\text{-Ce}$, включающий облучение люминофора излучением, отличающийся тем, что облучение проводят излучением рентгеновского диапазона энергий или электронами с энергией 10 – 300 КэВ и дозой 10 – 10^4 Гр, после чего облучение прерывают, а для регенерации снижающейся со временем интенсивности люминесценции до требуемого уровня интенсивности облучение вещества люминофора ионизирующим излучением повторяют многократно.

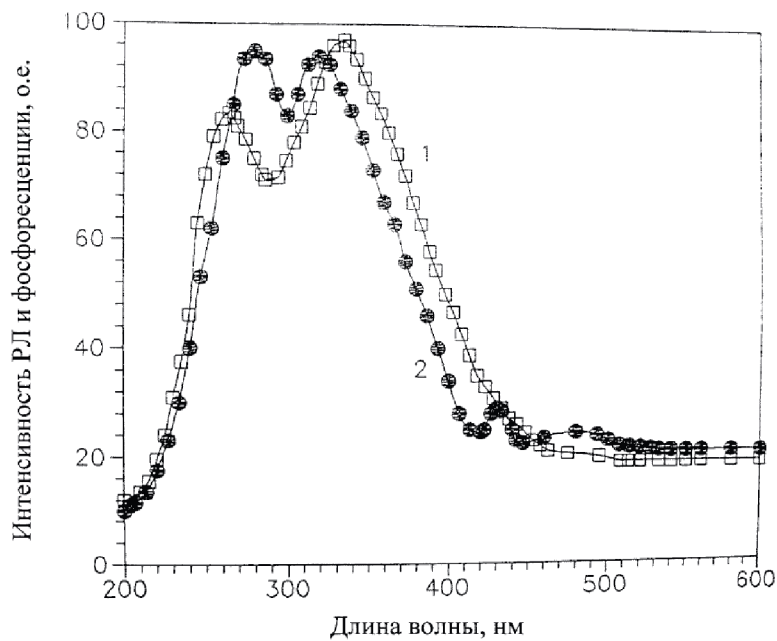
Таблица

Область люминесценции	Тип люминофора	Химическая формула	Период послесвечения
Зеленая	FV-540 – 1	ZnS:Cu	1–2 часа
Зеленая	FV-530D	$\text{SrAl}_2\text{O}_4 : \text{Eu, Dy}$	8-10 часов*
Бирюзовый	AV-490D	$(\text{Ca,Sr})\text{Al}_2\text{O}_4:\text{Eu,Dy}$	8-10 часов
Фиолетово-голубой	FV-440D	$\text{CaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu, Dy}$	8-10 часов

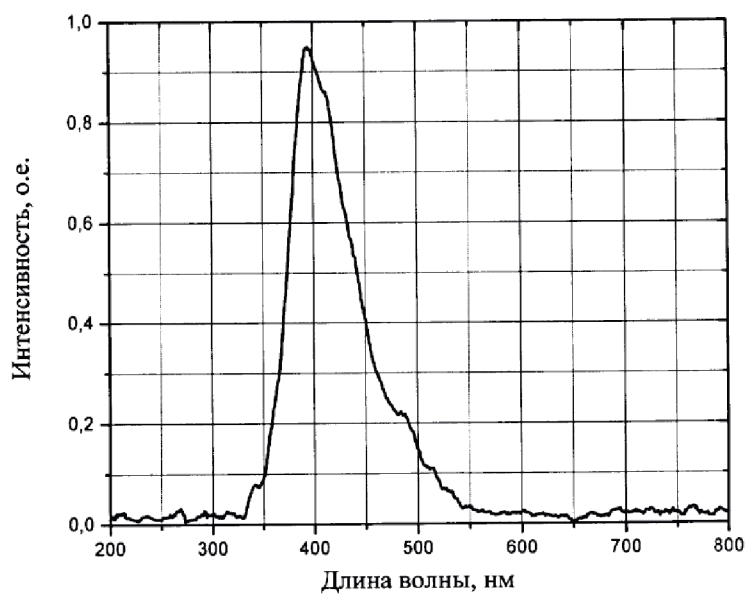
* По сложившейся в технической литературе терминологии послесвечение световых излучающих люминофоров 8 - 10 часов считается длительным или сверхдлительным



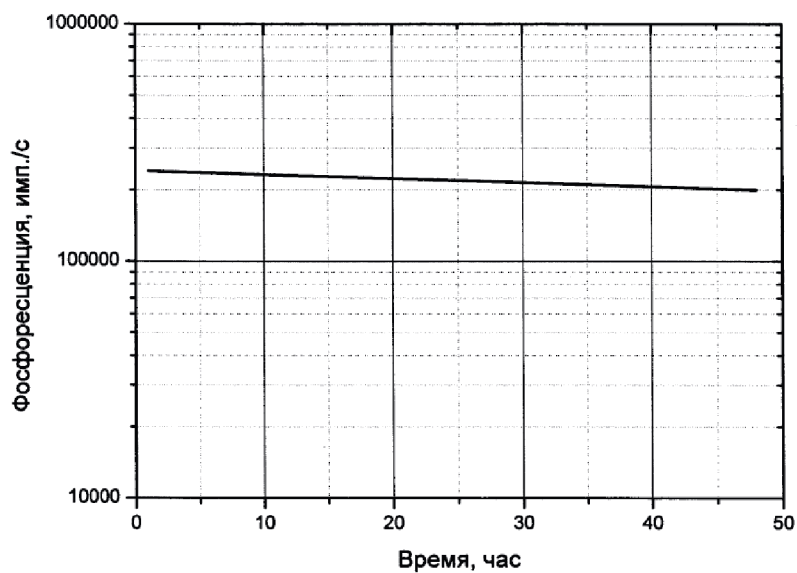
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Патент № 2347241 РФ. Детектор для регистрации ионизирующих излучений / Б. В. Шульгин, А. И. Коссе, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, Г. П. Малиновский. Заявл. от 26.11.2007; опубл. 20.02.2009. Бюл. №5.

Реферат

Изобретение относится к области дозиметрии ионизирующих излучений, особо к области дозиметрии нейтронов, включая нейтроны спектра деления, а также для дозиметрии и спектрометрии гамма- и рентгеновского излучений в диапазоне энергий от единиц килоэлектронвольт до $\sim 1,5$ МэВ и пригодно для использования в комплексах и системах дистанционного и контактного радиационного контроля, предназначенных для обнаружения делящихся материалов (урана, плутония) и радиоактивных веществ, определения их местоположения и изотопного состава, для радиационного мониторинга территорий и объектов, для радиационного обследования ядерных субмарин, подлежащих разборке, для решения задач госатомнадзора, таможенного контроля, для служб дозиметрической и ядерной безопасности атомных электростанций и предприятий по переработке ядерного топлива.

Описание изобретения

Известные детекторы ионизирующих излучений содержат, как правило, сенсорный датчик и блок электронной обработки сигналов. В качестве сенсорных датчиков используют сцинтилляторы, ионизационные счетчики или полупроводниковые детекторы.

Известен детектор нейтронов сцинтилляционного типа с датчиком на базе сцинтилляционных кристаллов $^6\text{Li:Eu}$ (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963). Известный детектор чувствителен к тепловым нейтронам. Однако он не пригоден для одновременной регистрации и спектрометрии гамма- и рентгеновского излучений с высоким энергетическим разрешением, с его помощью нельзя идентифицировать радиоактивные вещества, включая продукты распада делящихся материалов.

Известен детектор нескольких излучений (Детектор нескольких излучений. Заявка ЕВП (ЕР) № 0311503 GOI T 1/00,1/20, 1989). Он включает два сцинтилляционных датчика с зелёным и красным свечением, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой – к низкоэнергетическому, и электронный оптический блок регистрации, выделяющий сигналы от датчиков с помощью светофильтров (зелёного и красного) и регистрирующий их с помощью фотодиодов. Такой детектор имеет ограниченные области применения, он пригоден для регистрации рентгеновского излучения с двумя различными энергиями, однако он не пригоден для регистрации нейтронов и одновременно спектрометрии мягкого гамма-излучения и излучения рентгеновского диапазона, требующей высокого энергетического разрешения, что необходимо для идентификации продуктов распада делящихся материалов (например, америция, нептуния и др).

Известен всеволновой детектор нейтронов (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Энергоатомиздат, 1988. 399с), датчик которого состоит из ^3He -счётчиков, чувствительных к тепловым нейтронам, и замедлителя нейтронов (парафин). Однако такой детектор не пригоден для одновременной регистрации нейтронов и гамма-излучения, не пригоден для спектрометрии мягкого гамма-излучения и излучения рентгеновского диапазона, не пригоден для идентификации продуктов распада делящихся материалов (например, америция, нептуния и др).

Известен детектор (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского физико-технического института, 1990), датчик которого представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А,

предназначенный для регистрации гамма-излучения и быстрых нейтронов. Детектор имеет следующие характеристики: длительность сцинтимпульса, создаваемого нейтроном или гамма-квантом – 8,5 нс; световой выход УЕСВ (по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ – 0,29; максимум спектра люминесценции 490 нм, диаметр и высота до 50 мм. Однако такой детектор не пригоден для спектрометрии мягкого гамма-излучения и излучения рентгеновского диапазона, требующей высокого энергетического разрешения, не пригоден для идентификации продуктов распада делящихся материалов (например, америция, нептуния и др).

Известен детектор надтепловых нейтронов (Пат 4241253 США, GOI T 3/00, 1980), который содержит датчик тепловых нейтронов, защиту от тепловых нейтронов, окружающую этот датчик; замедлитель тепловых нейтронов, которые проникают через защиту, с тем чтобы эти нейтроны легче поглощались счётчиком. Толщина замедлителя и отношение диаметра счётчика к внешнему диаметру замедлителя таковы, что обеспечивается максимальная скорость счёта, которую можно получить, когда счётчик полностью заполняет внутренний диаметр защиты от тепловых нейтронов. Однако известный детектор не позволяет регистрировать гамма-излучение, не позволяет обеспечить спектрометрию мягкого гамма-излучения и излучения рентгеновского диапазона, не пригоден для идентификации продуктов распада делящихся материалов (например, америция, нептуния и др).

Известен детектор нейтронов и гамма-лучей (Пат. 4482808 США, GOI T 3/06, 1984). Детектор содержит датчик, в частности, сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако любой однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации нейтронов и гамма-лучей, поскольку не обладает достаточно высокой чувствительностью, избирательностью и необходимыми функциональными возможностями. Известный детектор не пригоден для спектрометрии мягкого гамма-излучения и излучения рентгеновского диапазона, не пригоден для идентификации продуктов распада делящихся материалов (например, америция, нептуния и др).

Известен детектор мягкого гамма- и рентгеновского излучения на основе особо чистого германия (проспект фирмы Canberra. Germanium Detectors). Однако, он функционирует только при температуре жидкого азота, не отвечает требованиям компактности, поскольку в состав детектора входит азотный криостат и кроме того, он не позволяет одновременно с гамма- и рентгеновским излучением регистрировать нейтронное излучение.

Из всех известных детекторов для регистрации ионизирующих излучений наиболее близким к заявляемому является детектор, описанный в патенте (Пат. 2088952 РФ, опубл. 27.08.97, бюл. 24). Известный детектор содержит сенсорный датчик и блок электронной обработки сигналов; датчик выполнен в виде последовательно соединённых сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительного к рентгеновскому и гамма-излучениям, и световода, выполненного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стильбена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, фотоэлектронного умножителя, преобразующего световые вспышки (сцинтилляции) в электрические сигналы, а блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него от сцинтиллятора $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов световода, изготовленного из стильбена или пластмассы $(\text{CH})_n$. Известный детектор отвечает требованиям компактности, функционирует при комнатной температуре, однако, он не позволяет проводить спектрометрию гамма- и рентгеновского излучений с высоким энергетическим разрешением. Энергетическое разрешение сцинтилляционных кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ составляет

15 – 20%, что совершенно недостаточно для спектрометрии мягкого гамма-излучения и излучения рентгеновского диапазона и идентификации продуктов распада делящихся материалов (например, америция, нептуния и др).

Задачей изобретения является разработка компактного, работающего при комнатной температуре детектора ионизирующих излучений, пригодного для дистанционного обнаружения и регистрации нейтронного и гамма-излучения, а также для регистрации и спектрометрии мягкого гамма- (до 1,5 МэВ) и рентгеновского излучения (контактный спектрометрический режим контроля) с высоким энергетическим разрешением (~ 0,3 % по линии Cs-137 - 662 кэВ), необходимым для надёжной идентификации радиоактивных веществ, делящихся материалов и продуктов их распада (например, америция, нептуния и др).

Для решения поставленной задачи предлагается детектор, содержащий сенсорный датчик и блок электронной обработки сигналов, в котором сенсорный датчик детектора содержит размещенные в едином корпусе полупроводниковый спектрометрический блок для регистрации и спектрометрического анализа мягкого гамма- и рентгеновского излучения, работающий в режиме контактного контроля при комнатной температуре, и сцинтилляционный счетный блок для дистанционного обнаружения и регистрации нейтронов и гамма-излучения, причем полупроводниковый блок включает полупроводниковый детектор на основе теллурида кадмия CdTe и коллиматор, размещенные в едином контейнере, укрепленном на держателе с шаровым шарниром с дистанционным управлением; сцинтилляционный блок обнаружения и регистрации дополнительно содержит гадолиниевый коллиматор – поглотитель фоновых тепловых нейтронов, бериллиевый отражатель-накопитель тепловых нейтронов, сцинтилляционный модуль-замедлитель из сцинтиллирующей водородсодержащей пластмассы (CH)_n, или стильбена, или антрацена для регистрации быстрых нейтронов и/или гамма-излучения, сцинтилляционный модуль на основе ⁶Li-содержащего силикатного стекла, активированного церием, для регистрации тепловых нейтронов и гамма-излучения, и фотоэлектронный умножитель, а блок электронной обработки сигналов содержит спектрометрический канал для обработки сигналов с полупроводникового спектрометрического блока с анализатором высокого разрешения, счетный канал для обработки сигналов со сцинтилляционного блока, обеспечивающий подсчет нейтронов и/или гамма-квантов, и блок управления детектором.

Схема предлагаемого устройства, раскрывающая его сущность, приведена на фиг. 1.

В состав устройства входит датчик с размещенными в корпусе 1 полупроводниковым блоком для регистрации гамма- и рентгеновского излучения, включающего в себя полупроводниковый спектрометрический блок на основе теллурида кадмия с холодильником Пельтье 2 с коллиматором 3 в контейнере 4, закреплённом на дистанционно управляемом шаровом шарнире 5 с держателем 6; сцинтилляционный блок для обнаружения и регистрации нейтронов и гамма-излучения, включающий в себя гадолиниевый коллиматор – поглотитель фоновых нейтронов 7, бериллиевый отражатель-накопитель 8, сцинтилляционный модуль-замедлитель 9 для регистрации быстрых нейтронов, выполненный из водородсодержащей пластмассы (CH)_n или стильбена, или антрацена, сцинтилляционный модуль 10 на основе ⁶Li-содержащего силикатного стекла, активированного церием, для регистрации тепловых нейтронов и/или гамма-излучения, и фотоэлектронный умножитель 11, а также блок электронной обработки сигналов 12, содержащий спектрометрический канал для обработки сигналов с полупроводникового спектрометрического блока с анализатором высокого разрешения (для спектрометрии мягкого гамма- излучения и излучения рентгеновского диапазона), счетный канал для счета нейтронов и гамма-квантов и блок управления детектором.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Дистанционное обнаружение делящихся материалов и радиоактивных веществ осуществляют по их нейтрон-

ному и/или гамма-излучению с помощью сцинтилляционного счетного блока детектирования. При этом детектор работает в дистанционном режиме. Быстрые нейтроны от обнаруживаемого источника излучения регистрируются водородсодержащим сцинтилляционным модулем-замедлителем 9, который одновременно является замедлителем быстрых нейтронов, замедляя их до тепловых энергий. Замедленные до тепловых энергий нейтроны регистрируются сцинтилляционным модулем 10 на основе ^6Li -содержащего силикатного стекла, активированного церием, за счёт ядерной реакции (n, α) тепловых нейтронов с ядрами изотопа ^6Li . Гадолиниевый коллиматор 7 поглощает фоновые тепловые нейтроны, что повышает отношение сигнал/шум. Бериллиевый отражатель-накопитель 8 формирует «нейтронную баню», т. е. возвращает (неоднократно) рассеянные нейтроны в рабочий объём сцинтилляционного модуля 10, где они в конце концов регистрируются. Использование бериллиевого отражателя повышает чувствительность детектора. Возникающие в сцинтилляционных модулях 9 и 10 сцинтилляционные вспышки регистрируются фотоэлектронным умножителем, сигналы с которого поступают в счетный канал блока электронной обработки сигналов 12. Стеклоанный сцинтилляционный модуль 10 прозрачен для световых вспышек, возникающих в сцинтилляционном модуле-замедлителе 9. Фотоэлектронный умножитель 11 регистрирует световые вспышки от сцинтилляционных модулей 9 и 10 одновременно, что повышает эффективность обнаружения делящихся материалов и радиоактивных веществ.

Сцинтилляционный счетный блок одновременно с нейтронами регистрирует испускаемые радиоактивными веществами гамма-кванты, которые также, как и нейтроны, вызывают световые вспышки в сцинтилляционных модулях 9 и 10, которые также регистрируются фотоэлектронным умножителем 11, сигналы с которого обрабатываются в счетном канале блока электронной обработки сигналов 12.

В контактном режиме предлагаемый детектор используют для идентификации делящихся материалов и радиоактивных веществ путем проведения спектрометрического анализа испускаемых гамма-квантов и квантов рентгеновского излучения с помощью полупроводникового спектрометрического блока на основе кристалла теллурида кадмия CdTe с высоким энергетическим разрешением на уровне долей процента в диапазоне энергий от единиц кэВ до 1,5 МэВ. Полупроводниковый блок на основе кристалла теллурида кадмия работает при комнатной температуре с Пельтье холодильником, который охлаждает кристалл теллурида кадмия до температуры минус 30°C , что обеспечивает его высокое энергетическое разрешение на уровне $\sim 0,3\%$ по линии Cs-137 - 662 кэВ. С помощью CdTe -полупроводникового спектрометрического блока гамма-кванты и кванты рентгеновского излучения, испускаемые делящимся материалом, например, ^{235}U ($E_\gamma = 143$ и 185 кэВ), ^{239}Pu ($E_\gamma = 60, 215$ и 393 кэВ) и/или продуктами их распада, например, ^{242}Am ($E_\gamma = 60$ кэВ), могут быть однозначно идентифицированы. Сигналы с полупроводникового спектрометрического блока поступают в спектрометрический канал с анализатором высокого разрешения блока обработки сигналов. Коллиматор 3 и шарнирное соединение 5 с дистанционным управлением обеспечивают возможность направленной регистрации излучения. Управление шарниром осуществляет блок управления детектором, входящим в состав блока электронной обработки сигналов. Блок управления детектором обеспечивает также питание полупроводникового спектрометрического блока и фотоэлектронного умножителя сцинтилляционного счетного блока.

Предлагаемое устройство обеспечивает дистанционное обнаружение и регистрацию нейтронов и гамма-излучения в счётном режиме, и спектрометрию мягкого гамма- и рентгеновского излучений с высоким энергетическим разрешением в контактном режиме регистрации. Последнее позволяет достоверно идентифицировать продукты распада делящихся материалов и изотопный состав регистрируемых радиоактивных веществ.

Предлагаемый детектор отвечает требованиям компактности, его рабочей температурой эксплуатации является комнатная температура. Дополнительным преимуществом предлагаемого детектора является возможность дистанционного выбора направления регистрации спектрометрического полупроводникового блока с помощью дистанционного управления шарниром.

Применение: для дистанционного обнаружения и контактной идентификации радиоактивных веществ и делящихся материалов по их нейтронному, гамма- и рентгеновскому излучениям.

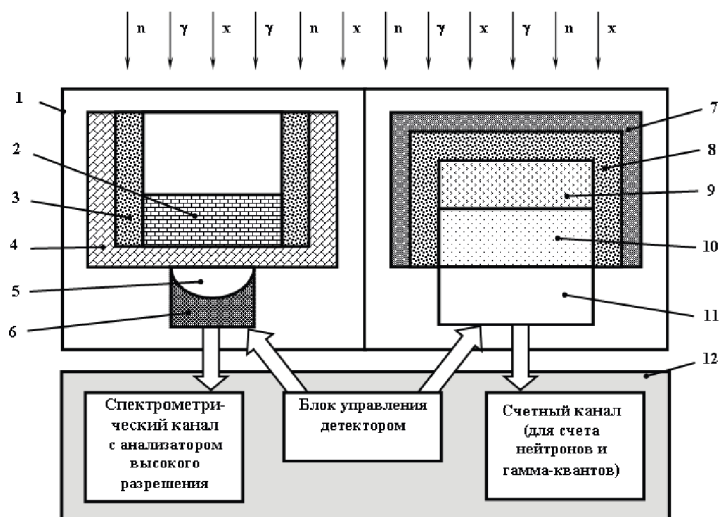
Сущность: детектор содержит сенсорный датчик и блок электронной обработки сигналов, причем сенсорный датчик содержит размещенные в едином корпусе полупроводниковый спектрометрический блок для регистрации и спектрометрического анализа мягкого гамма- и рентгеновского излучения, работающий в режиме контактного контроля, и сцинтилляционный счетный блок для дистанционного обнаружения и регистрации нейтронов и гамма-излучения, причем полупроводниковый спектрометрический блок включает полупроводниковый детектор на основе теллурида кадмия и коллиматор, размещенные в едином контейнере, укрепленном на держателе с шаровым шарниром с дистанционным управлением; сцинтилляционный блок обнаружения и регистрации дополнительно содержит гадолиниевый коллиматор – поглотитель фоновых тепловых нейтронов, бериллиевый отражатель-накопитель тепловых нейтронов, сцинтилляционный модуль-замедлитель из сцинтиллирующей водородсодержащей пластмассы (СН)_л или стиблена, или антрацена для регистрации быстрых нейтронов и/или гамма-излучения, сцинтилляционный модуль на основе ⁶Li-содержащего силикатного стекла, активированного церием, для регистрации тепловых нейтронов и/или гамма-излучения, и фотоэлектронный умножитель, а блок электронной обработки сигналов содержит спектрометрический канал обработки сигналов с полупроводникового спектрометрического блока с анализатором высокого разрешения, счетный канал для обработки сигналов со сцинтилляционного счетного блока и блок управления детектором.

Технический результат: повышение эффективности дистанционного обнаружения и контактной идентификации радиоактивных веществ и делящихся материалов по их нейтронному, гамма- и рентгеновскому излучениям, компактность и обеспечение работы при комнатной температуре.

Формула изобретения

Детектор для регистрации ионизирующих излучений, содержащий сенсорный датчик и блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что сенсорный датчик содержит размещенные в едином корпусе полупроводниковый спектрометрический блок для регистрации и спектрометрического анализа мягкого гамма- и рентгеновского излучения, работающий в режиме контактного контроля при комнатной температуре, и сцинтилляционный счетный блок для дистанционного обнаружения и регистрации нейтронов и гамма-излучения, причем полупроводниковый спектрометрический блок включает полупроводниковый детектор на основе теллурида кадмия CdTe и коллиматор, размещенные в едином контейнере, укрепленном на держателе с шаровым шарниром с дистанционным управлением; сцинтилляционный блок обнаружения и регистрации дополнительно содержит гадолиниевый коллиматор – поглотитель фоновых тепловых нейтронов, бериллиевый отражатель-накопитель тепловых нейтронов, сцинтилляционный модуль-замедлитель из сцинтиллирующей водородсодержащей пластмассы (СН)_л или стиблена, или антрацена для регистрации быстрых нейтронов и/или гамма-излучения, сцинтилляционный модуль на основе ⁶Li-содержащего силикатного стекла, активированного церием, для регистрации тепловых нейтронов и/или гамма-излучения, и фотоэлектронный умножитель, а блок электронной обработки сигналов содержит спектрометрический канал обработки сигналов с полупроводникового спектрометриче-

ского блока с анализатором высокого разрешения, счетный канал для обработки сигналов со сцинтилляционного счетного блока и блок управления детектором



Фиг. 1

Патент № 2347741 РФ. Способ получения нанокристаллических покрытий на основе нанокристаллов фторида лития или фторида натрия / А. Н. Черепанов, Е. Г. Голиков, В. Ю. Иванов, А. В. Кружалов, Ф. Г. Нешов, В. Л. Петров, Б. В. Шульгин, Ю. Ю. Упорова, М. М. Кидибаев, В. Г. Пушин, Н. В. Николаева, В. Б. Малков. Заявл. от 27.08.2007; опубл. 27.02.2009 Бюл. № 6.

Реферат

Применение: для получения нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе.

Суть изобретения заключается в том, что нанокристаллы фторида лития или фторида натрия и нанокристаллические покрытия на их основе получают с использованием распыляющего пучка, в качестве которого применяют ионные циклотронные пучки ионов гелия He^+ или ионов азота N^{3+} , которыми облучают в мишенной камере циклотрона в вакууме исходные кристаллы фторида лития или фторида натрия так, что происходит их малоугловое направленное распыление (абляция) вперед. Исходные кристаллы предварительно нагревают с помощью контактного платинового электрода и сохраняют нагретыми во время всего процесса облучения. При этом на подложке формируются отдельные нанокристаллы или нанокристаллические покрытия сплошного или островкового типа толщиной в один или несколько слоев нанокристаллов. Для повышения качества сплошных нанокристаллических покрытий распыление исходных кристаллов ведут в электрическом поле, создаваемом за счет приложения напряжения между подложкой и контактным платиновым электродом.

Технический результат: получение нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе на различных подложках (органических и неорганических, включая металлические, полупроводниковые, диэлектрические, керамические или стеклянные подложки) и возможность создания нанокристаллических покрытий сплошного или островкового типа.

Описание изобретения

Изобретение относится к области получения нанокристаллов неорганических материалов и нанокристаллических покрытий на их основе, а именно относится к области получения нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе на подложках из различных материалов: неорганических (включая металлические, полупроводниковые, диэлектрические, керамические или стеклянные материалы) или органических материалов. Изобретение представляет интерес для решения ряда проблем нанотехнологий, связанных с разработкой нанокристаллических структур и гетероструктур, пригодных для создания оптоэлектронных блоков и систем многоцелевого назначения, в частности, таких как волноводы, микродетекторы, индикаторы и визуализаторы ионизирующих излучений для систем радиационного мониторинга и систем неразрушающего контроля, для устройств, обеспечивающих генерацию, ограничение (ослабление) и усиление света с использованием активных одномодовых канальных волноводов, для получения миниатюрных широкополосных усилителей и лазеров, совместимых с интегральными оптическими элементами.

Известен механохимический способ получения нанокристаллов $\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{F}_{2+x}$ из кристаллов фторидов CaF_2 и LaF_3 (Б. П. Соболев, И. А. Свиридов, В. И. Фадеева, С. Н. Сульянов, Н. И. Сорокин, З. И. Жмурова, П. Эрреро, А. Ланда-Кановас, Р. М. Рохас. Кристаллография. 2005. Т. 50, № 3. С. 524–531). Синтез нанокристаллов по известному способу осуществляют помолот смесей исходных ингредиентов CaF_2 и LaF_3 , например, 90 % CaF_2 и 10 % LaF_3 или 80 % CaF_2 и 20 % LaF_3 в планетарной мельнице в атмосфере аргона. Известный способ позволяет получать нанокристаллы нестехиомет-

рической фазы $\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{F}_{2+x}$ в виде объемной массы размером от 5 до 50 нм, в среднем 20 – 30 нм. Однако известный способ не позволяет получать отдельные нанокристаллы и нанокристаллические покрытия на их основе толщиной в один или несколько слоев нанокристаллов на различных подложках, не позволяет получать нанокристаллические покрытия сплошного или островкового типа.

Известен способ получения планарных гетероструктур на базе кристаллов фторида лития с приповерхностным нано-, микроструктурированным слоем, включающий облучение исходных кристаллов фторида лития энергетическим пучком электронов или ионов гелия He^+ (R. M. Monterealy et al. Opt. Comm. 1988, V. 153. P. 233; Mussi et al. Appl. Phys. Lett. 2003. V. 82. P. 3886; K. Kawamura et al. Appl. Phys. Lett. 2004. V. 84. P. 311; F. Bofigli et al. Opt. Materials. 2003, V. 24. P. 291–296; T. Kirobori et al. Y. Phys. Condens. Matter. 2003, V. 15, P. L399). Известный способ позволяет получать приповерхностные нано- и микромерные покрытия (слои) только на исходном кристалле вследствие радиационной модификации: в приповерхностных слоях исходного кристалла в результате облучения образуются наноразмерные дефекты в виде заполненных электронами вакансий (центров окраски, включая агрегатные центры окраски) или имплантированных атомов (ионов) гелия He^+ , используемых для облучения. Толщина модифицированных приповерхностных слоев зависит от глубины проникновения энергетического пучка электронов или ионов гелия He^+ в кристалл, которая определяется энергией пучка. Толщина модифицированных приповерхностных слоев может достигать величины от нескольких нанометров до нескольких микрон и более в случае облучения кристаллов фторида лития глубокопроникающим пучком электронов высоких энергий. Эти дефектные приповерхностные слои являются элементами планарной гетероструктуры. Однако известный способ позволяет получать нано-, микроструктурированные слои только на исходном облучаемом кристалле (мишени) и не позволяет размещать эти нано-, микроструктурированные слои на носителях-подложках другого типа: органических и неорганических (металлических, керамических и др). Кроме того, известный способ не позволяет получать отдельные нанокристаллы.

Известен способ получения наноструктурированных приповерхностных слоев (элементов волоконных гетероструктур) кристалловолокон фторида лития или фторида натрия, включающий облучение исходных кристалловолокон циклотронным ионным пучком ионов гелия He^+ или ионов азота N^{3+} (Патент 22822114 РФ, МПК G01T 1/20, 1/202, 2006. Бюл. № 23). Суть известного способа заключается в облучении вращающихся исходных кристалловолокон фторида лития или фторида натрия пучком ионов гелия He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ и флюенсом в пределах от 10^{15} до 10^{16} ион/см² или пучком ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ и флюенсом в пределах от $5 \cdot 10^{14}$ до $8 \cdot 10^{15}$ ион/см² в мишенной камере циклотрона при вакууме $\sim 10^{-6}$ мм рт. ст. В результате облучения в приповерхностных слоях исходных кристалловолокон фторида лития или фторида натрия образуются тонкие наноразмерные дефектные слои, толщина которых зависит от энергии облучающих ионов. Однако известный по патенту РФ 22822114 способ позволяет получать наноструктурированные слои только на исходных облучаемых кристалловолоконках (мишенях) и не позволяет размещать эти наноструктурированные слои на носителях-подложках другого типа: органических и неорганических (металлических, керамических и др). Кроме того, известный способ не позволяет получать отдельные нанокристаллы.

Наиболее близким к заявляемому является способ получения нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе, включающий распыление на подложку исходных кристаллов фторида лития или фторида натрия путем их облучения энергетическим распыляющим пучком, в качестве которого используют пучок высокоэнергетического лазерного излучения, так называемый метод лазерной абляции (Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева,

М. Г. Иванов и др. Материаловедение, 2006, № 3. С. 43–47.; Люминесценция объемных, волоконных и наноразмерных кристаллов LiF и NaF / А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, Б. В. Шульгин. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. 304 с.). В рамках известного способа нанокристаллы фторида лития или фторида натрия и нанокристаллические покрытия на их основе получают в мишенной камере распыления путем облучения исходных кристаллов фторида лития или фторида натрия мощным импульсным инфракрасным CO₂-лазером в атмосфере воздуха. Энергия каждого лазерного импульса – 1,3–1,6 Дж, пиковая мощность – 7–9 кВт, частота следования импульсов – 1 Гц, длительность импульса ~ 300 мкс. Излучение лазера фокусируют линзой из хлорида калия и направляют на мишень под углом 45°. В точке касания луча поверхности исходного кристалла (мишени) возникает факел, состоящий из наночастиц распыляемого материала. Подложку устанавливают над мишенью примерно параллельно облучаемой поверхности мишени так, чтобы расстояние между мишенью и подложкой не превышало размеров лазерного факела (несколько миллиметров). Испаряемый лазерным пучком фторид лития или фторид натрия разлетается в 2 π -геометрии в виде нанокристаллов и осаждается на подложке. Известный способ позволяет получать нанокристаллы фторида лития или фторида натрия с размерами от 5 нм и выше и нанокристаллические покрытия на их основе со средними размерами нанокристаллов в покрытии ~ 60 нм. Однако известный способ из-за высокой скорости процесса лазерного распыления (абляции) не позволяет надежно управлять толщиной нанокристаллических покрытий, особо, когда требуется получить нанокристаллические покрытия толщиной в один или несколько слоев нанокристаллов. Кроме того, из-за отсутствия однозначно направленных импульсов у распыляемых при лазерной абляции в 2 π -геометрии наночастиц фторида лития или фторида натрия их адгезия к подложке (прилипание к подложке) оказывается слабой, так что требуется специальный подогрев подложки (до температуры, равной 30–70% от температурам плавления распыляемых материалов) в течение всего процесса распыления. В противном случае нанокристаллические покрытия оказываются низкого качества и могут просто осыпаться. Это является существенным недостатком известного способа.

В предлагаемом способе получение нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе осуществляют распылением на подложку исходных кристаллов фторида лития или фторида натрия путем их облучения энергетическим распыляющим пучком, в качестве которого используют циклотронные пучки ионов гелия He⁺ с энергией 3 \pm 2 МэВ или ионов азота N³⁺ с энергией 16 \pm 6 МэВ, облучение ведут в мишенной камере циклотрона при вакууме не хуже 10⁻⁶ мм рт. ст., исходные кристаллы фторида лития или фторида натрия располагают под углом 10⁻¹⁵° относительно пучка ионов и облучают до флюенсов 5·10¹⁵–10¹⁷ ион/см² при постоянном нагреве в течение всего процесса облучения с помощью контактного платинового электрода, исходные кристаллы фторида лития или фторида натрия в течение 10⁻²⁰ минут до облучения предварительно нагревают с помощью контактного платинового электрода до температуры 740–760°C для кристалла фторида лития и 850–890°C для кристалла фторида натрия; нагрев до этих температур поддерживают в течение всего последующего процесса облучения; распыление исходных кристаллов фторида лития или фторида натрия ведут на подложку, которую располагают перпендикулярно распыляемой поверхности исходных кристаллов так, чтобы на нее не попадал первичный пучок ионов; распыление исходных кристаллов фторида лития или фторида натрия ведут в электрическом поле напряженностью 1000–3000 В/см, создаваемом за счет приложения напряжения между подложкой и контактным платиновым электродом.

Предварительный нагрев исходных кристаллов в вакууме до высокой температуры приводит к очистке их поверхности от водных, углеродных, азотных и других газовых включений. Под действием ионного пучка происходит направленное малоугловое ионное распыление вперед (направленная малоугловая абляция) нагретых до достаточно

высоких температур (около 85 % относительно $T_{пл}$) приповерхностных слоев исходных кристаллов LiF или NaF, так что выбитые из приповерхностных слоев кристаллов отдельные ионы или наночастицы исходного вещества, имеющие направленный импульс малоуглового рассеяния вперед. В итоге эти наночастицы оказываются вбитыми, вколотыми в подложку из неорганического (включая металлические, полупроводниковые, диэлектрические, керамические или стеклянные материалы) или органического материала, например на подложку из стеклоглерода, кремния, фторида лития или фторида натрия. При этом как отдельные наночастицы, так и нанокристаллические покрытия оказываются прочно связанными с подложкой. Подогрева подложки не требуется.

Подложку устанавливают в мишенной камере циклотрона вблизи исходного кристалла перпендикулярно распыляемой поверхности исходного кристалла так, чтобы прямой пучок ионов на подложку не попадал (Фиг. 1). В силу статистического характера взаимодействия ионов циклотронных пучков с атомами приповерхностных слоев распыляемого материала (фторида лития или фторида натрия) на подложке формируются покрытия из наночастиц сплошного или островкового типа. Для управления процессом получения сплошных нанокристаллических покрытий высокого качества распыление исходных материалов ведут в электрическом поле напряженностью 1000 – 3000 В/см, создаваемом за счет приложения напряжения между подложкой и контактным платиновым электродом. Приложенное напряжение улучшает качество нанокристаллических покрытий в следствие того, что оно способствует снижению, рассасыванию объемного заряда, накапливаемого на подложке в процессе малоуглового рассеяния ионов первичного пучка.

Таким образом, сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что нанокристаллы фторида лития или фторида натрия и нанокристаллические покрытия на их основе получают с использованием распыляющего пучка, в качестве которого применяют ионные циклотронные пучки ионов гелия He^+ или ионов азота N^{3+} , которыми облучают в мишенной камере циклотрона в вакууме исходные кристаллы фторида лития или фторида натрия так, что происходит их малоугловое направленное распыление (абляция) вперед. Исходные кристаллы предварительно нагревают с помощью контактного платинового электрода и сохраняют нагретыми во время всего процесса облучения. При этом на подложке формируются отдельные нанокристаллы или нанокристаллические покрытия сплошного или островкового типа толщиной в один или несколько слоев нанокристаллов. Для повышения качества сплошных нанокристаллических покрытий распыление исходных кристаллов ведут в электрическом поле, создаваемом за счет приложения напряжения между подложкой и контактным платиновым электродом. Предварительный нагрев исходных материнских кристаллов в вакууме необходим для очистки поверхности кристаллов от газовых включений, от сорбатов. Нагрев во время всего процесса облучения необходим для уменьшения связи ионов лития/натрия и фтора с кристаллической решеткой и для увеличения выхода нанокристаллов в результате малоуглового распыления вперед распыляемого материала.

Аттестация полученных нанокристаллов фторида лития и натрия и нанокристаллических покрытий на их основе проводилась с использованием методов электронной сканирующей микроскопии (использовались микроскоп японской фирмы YEOL JSM-5900 LV и микроскоп Quanta-20 фирмы «Филипс»).

Преимуществом предлагаемого способа получения нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе является их высокая адгезия к различным подложкам (органическим и неорганическим, включая металлические, полупроводниковые, диэлектрические, керамические или стеклянные подложки), а также возможность создания нанокристаллических покрытий сплошного или островкового типа.

Дополнительным преимуществом предлагаемого способа является возможность получения не только чистых, беспримесных нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе, но и активированных примесями нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе. В частности, возможно получение нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе, активированных люминесцентно-активными примесями, например ураном.

Пример 1. Нанокристаллы фторида натрия и нанокристаллические покрытия на их основе получают из исходных кристаллов фторида натрия путем их направленного радиационного распыления вперед на подложку с помощью пучка ускоренных ионов азота N^{3+} . Схема процесса радиационного распыления приведена на Фиг. 1, на которой указано направление пучка ионов, положение исходного кристалла мишени и положение подложки. Распыление исходного кристалла фторида натрия размером $10 \times 10 \times 1 \text{ мм}^3$ ведут в мишениной камере циклотрона при вакууме $10^{-6} \text{ мм рт. ст.}$ Кристалл располагают под углом 15° относительно оси пучка ионов азота N^{3+} . Энергия ионов N^{3+} равна 10 МэВ. Перед облучением исходный кристалл фторида натрия нагревают с помощью прилегающего к кристаллу контактного платинового электрода до температуры 860°C в течении 15 минут, после чего кристалл облучают пучком ионов азота до флюенса 10^{16} ион/см^2 (продолжительность облучения зависит от тока пучка). Температуру кристалла во время облучения с помощью контактного платинового электрода поддерживают на уровне 860°C . Под действием пучка ионов азота происходит направленное распыление (абляция) поверхностного слоя исходного кристалла фторида натрия с участием нескольких возможных процессов. При ударном взаимодействии ионов азота, имеющих энергию 10 МэВ, с ядрами фтора и натрия, может происходить их выбивание из узлов кристаллической решетки, в результате чего образуются ионы фтора и натрия, распыляемые под малым углом вперед, которые образуют наночастицы фторида натрия на подложке. Происходит и другой процесс, связанный с разогревом поверхностного слоя распыляемого вещества фторида натрия за счет трековых эффектов, вызывающих абляционное распыление вперед наночастиц, которые попадают на подложку, вколочиваются, вжигаются в нее, обеспечивая их высокую адгезию к подложке. Подложку из неорганического или органического материала, в данном примере из стеклогуглерода, устанавливают перпендикулярно распыляемой поверхности исходного кристалла так, чтобы на нее не попадал первичный пучок ионов. Электрическое поле не прикладывают. В результате на подложке формируются почти сплошные нанокристаллические покрытия островкового типа из отдельных наночастиц фторида натрия и их агрегатов (Фиг. 2). Размеры агрегатов наночастиц от 60 до 400 нм. Аналогичным образом получают люминесцирующие покрытия на основе NaF:U с характерным зеленым свечением.

Пример 2 (то же, что в примере 1, но с приложенным электрическим полем). Нанокристаллы фторида натрия и нанокристаллические покрытия на их основе получают также как в Примере 1, но между подложкой и контактным платиновым электродом прикладывают электрическое поле напряженностью 1000 – 3000 В/см, которое поляризует образуемые молекулы и нанокластеры фторида натрия и обеспечивает (стимулирует) их направленное движение к подложке. Электрическое поле обеспечивает более равномерное, чем в Примере 1, распределение наночастиц на подложке и получение наночастиц более высокого качества. В результате на подложке образуются сплошные нанокристаллические покрытия из наночастиц фторида натрия, показанные на Фиг. 3 – 5 при различном увеличении. Размеры наночастиц в нанокристаллических покрытиях – от 15 до 120 нм (в среднем).

Пример 3 (то же, что в примере 1, но низкая температур разогрева мишени). Нанокристаллы фторида натрия и нанокристаллические покрытия на их основе получают также как в Примере 1, но перед облучением исходный кристалл фторида натрия нагревают с помощью прилегающего к кристаллу контактного платинового электрода не до 860°C, а до 50°C и поддерживают такую же температуру в течении всего процесса облучения. Низкая температура нагрева не обеспечивают эффективного распыления поверхностного слоя исходного кристалла фторида натрия на подложку. В результате нанокристаллические покрытия формируются не регулярно и в виде отдельных случайных сгустков.

Пример 4 (то же, что в примере 2, но более высокий флюенс облучения). Нанокристаллы фторида натрия и нанокристаллические покрытия на их основе получают также как в Примере 2, но кристалл облучают пучком ионов азота до флюенса 10^{17} ион/см² (продолжительность облучения зависит от тока пучка). В результате на подложке образуются сплошные нанокристаллические покрытия из наночастиц фторида натрия типа покрытий из Примера 2, но более плотные. Более высокий флюенс (более 10^{17} ион/см²) требует больших затрат и экономически не эффективен.

Приемлемыми энергиями ионов N^{3+} и He^+ , применяемых для распыления кристаллов NaF и получения нанокристаллических покрытий, являются энергии в пределах 16 ± 6 МэВ и 3 ± 2 МэВ соответственно.

Пример 5. Нанокристаллы фторида лития и нанокристаллические покрытия на основе фторида лития получают из исходных материнских кристаллов фторида лития путем их направленного радиационного распыления вперед с помощью пучка ускоренных ионов гелия He^+ . Схема процесса радиационного распыления такая же как и в Примере 1, она приведена на Фиг. 1. Распыление исходного кристалла фторида лития размером $10 \times 10 \times 1$ мм³ ведут в мишенной камере циклотрона при вакууме 10^{-6} мм рт. ст. Кристалл располагают под углом 15° относительно оси пучка ионов гелия. Энергия ионов гелия He^+ 3 МэВ. Перед облучением исходный кристалл LiF нагревают с помощью прилегающего к кристаллу контактного платинового электрода до температуры 750°C в течении 10 мин, после чего кристалл облучают пучком ионов гелия до флюенса 10^{16} ион/см². Температуру кристалла во время облучения с помощью контактного платинового электрода поддерживают на уровне 750°C. Под действием пучка ионов гелия происходит малоугловое направленное вперед распыление (абляция) поверхностного слоя исходного кристалла фторида лития на подложку из фторида лития. Процессы распыления исходного вещества аналогичны процессам, протекающим при распылении фторида натрия (см. Пример 1). Подложку из неорганического или органического материала, в данном примере подложку из фторида лития, устанавливают перпендикулярно распыляемой поверхности исходного кристалла так, чтобы на нее не попадал первичный пучок ионов. Электрическое поле не прикладывают. В результате на подложке образуются нанокристаллические покрытия из наночастиц LiF островкового типа (Фиг. 6). Более равномерные нанокристаллические покрытия на основе LiF образуются при приложении электрического поля порядка 1000 – 3000 В/см между распыляемым материнским кристаллом и подложкой.

Формула изобретения

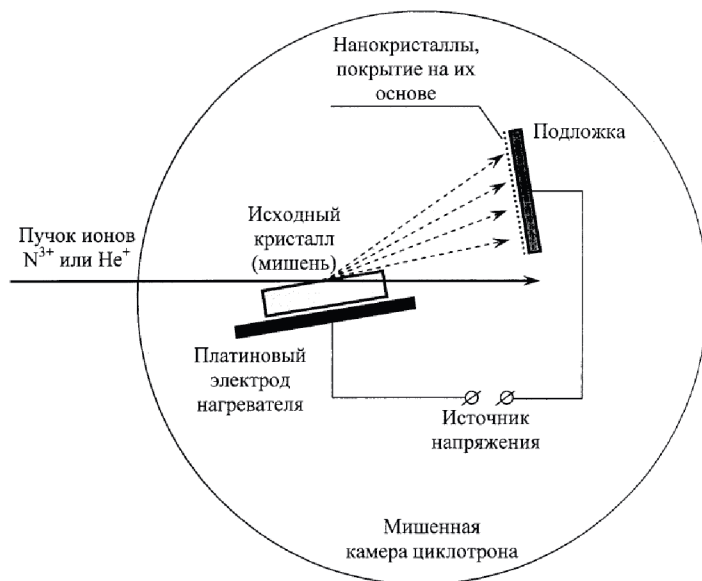
1. Способ получения нанокристаллов фторида лития или фторида натрия и нанокристаллических покрытий на их основе, включающий распыление на подложку исходных кристаллов фторида лития или фторида натрия путем их облучения энергетическим распыляющим пучком, отличающийся тем, что в качестве энергетического распыляющего пучка используют циклотронные пучки ионов гелия He^+ с энергией 3 ± 2 МэВ или ионов азота N^{3+} с энергией 16 ± 6 МэВ, облучение ведут в мишенной камере циклотрона

при вакууме не хуже 10^{-6} мм рт. ст., исходные кристаллы фторида лития или фторида натрия располагают под углом 10^{-15}° относительно пучка ионов и облучают до флюенсов $5 \cdot 10^{15} - 10^{17}$ ион/см² при постоянном нагреве в течение всего процесса облучения с помощью контактного платинового электрода.

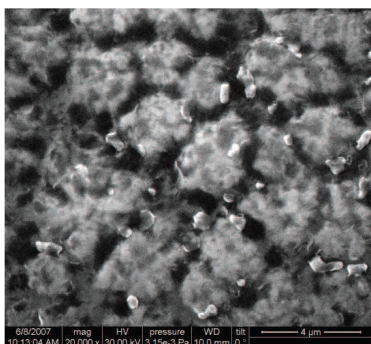
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что исходные кристаллы фторида лития или фторида натрия в течение 10^{-20} минут до облучения предварительно нагревают с помощью контактного платинового электрода до температуры $740 - 760^\circ\text{C}$ для кристалла фторида лития и $850 - 890^\circ\text{C}$ для кристалла фторида натрия; нагрев до этих температур поддерживают в течение всего последующего процесса облучения.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что распыление исходных кристаллов фторида лития или фторида натрия ведут на подложку, которую располагают перпендикулярно распыляемой поверхности исходных кристаллов так, чтобы на нее не попадал первичный пучок ионов.

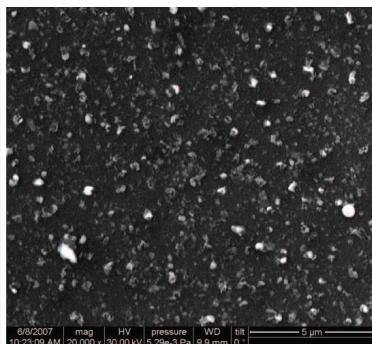
4. Способ по п.1, отличающийся тем, что распыление исходных кристаллов фторида лития или фторида натрия ведут в электрическом поле напряженностью $1000 - 3000$ В/см, создаваемом за счет приложения напряжения между подложкой и контактным платиновым электродом.



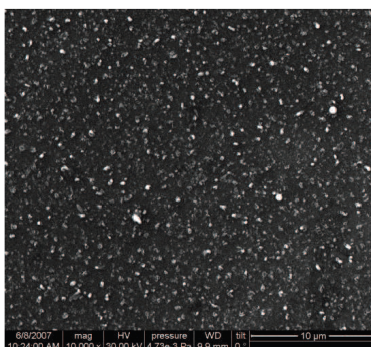
Фиг. 1



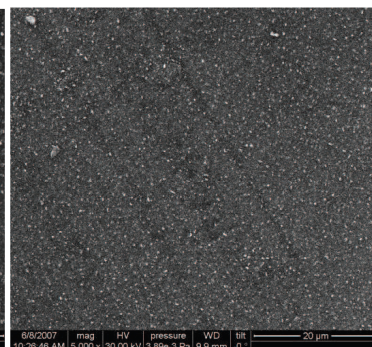
Фиг. 2



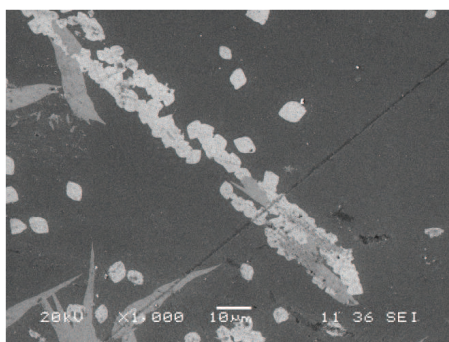
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

Патент № 2348923 РФ. Способ обнаружения наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия на подложке / Б. В. Шульгин, Р. М. Кадушников, А. Н. Черепанов, Ю. Ю. Упорова, А. В. Ищенко, В. Б. Малков. Заявл. от 21.11.2007; опубл. 10.03.2009. Бюл. №7.

Реферат

Применение: для определения наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия в нанокристаллических покрытиях на подложках в продуктах плазменного или лазерного распыления кристаллов фторида натрия без применения электронных микроскопов.

Сущность способа заключается в том, что обнаружение наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия проводят путем измерения дозовой зависимости световыхода импульсной катодолюминесценции S_k анализируемых продуктов плазменного или лазерного распыления на подложке и последующего сравнения полученной дозовой зависимости S_k с дозовыми зависимостями световыходов импульсной катодолюминесценции для эталонных наноразмерных и объемных кристаллов $S_k^{\text{нано}}$ (эталон) и $S_k^{\text{объем}}$ (эталон) соответственно.

Технический результат: возможность определения наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия в нанокристаллических покрытиях на подложках в продуктах плазменного или лазерного распыления кристаллов фторида натрия без применения электронных микроскопов.

Описание изобретения

Изобретение относится к области нанотехнологии, связанной с индикаторным определением размерности нанокристаллической продукции, особо связанной с установлением наличия наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия в нанокристаллических покрытиях на подложках в продуктах плазменного или лазерного распыления кристаллов фторида натрия без применения электронных микроскопов; оно может найти применение в химической и оптоэлектронной промышленности при контроле качества изготовления оптически активных низкоразмерных покрытий на основе фторида натрия и изделий на их основе: волноводов, линий задержки, планарных люминесцентных индикаторов, планарных быстрых сцинтилляторов, элементов фотоники и интегральной оптики.

Доказательством наличия наночастиц любых материалов на любых подложках служат их фотографии, получаемые с использованием электронных микроскопов, обеспечивающих увеличение в десятки тысяч раз. Методы микроскопии являются основными методами обнаружения наночастиц. Известен способ обнаружения наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия, активированных ураном, в продуктах лазерного распыления (лазерной абляции) на подложках, с использованием растрового электронного микроскопа (А.Н.Черепанов, В.Ю.Иванов, Т.С.Королева, Б.В.Шульгин «Люминесценция объемных, волоконных и наноразмерных кристаллов LiF и NaF», УГТУ-УПИ, 2006. С. 92–93; Модель формирования нанокристаллов фторида натрия методом лазерной абляции / Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, В. В. Платонов, М. Г. Иванов, В. Б. Малков // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. Вып. 18. С. 61–68). Наноразмерная фракция частиц NaF:U, полученных методом лазерной абляции на молибденовой подложке, достоверно обнаруживается на фотографиях. Однако для осуществления известного способа необходимо применение дорогостоящих электронных микроскопов. В известном способе применялся растровый электронный микроскоп JSM-S900 LV японской фирмы JEOL. При отсутствии в лаборатории электронных микроскопов проведение экспрессного, индикаторного обнаружения наноразмерных фракций ча-

стиц в продуктах лазерного или плазменного распыления кристаллов фторида натрия методами микроскопии невозможно.

Известно (патент РФ № 2243573, опубл. 27.12.2004. Бюл. № 36) применение объемных большеразмерных кристаллов фторида натрия для изготовления на их основе сцинтилляционных экранов путем облучения кристаллов фторида натрия циклотронным пучком ионов гелия He^+ с флюенсом (дозой) не менее 10^{18} см^{-2} . Облучение приводит к образованию в приповерхностных слоях неактивированных кристаллов фторида натрия люминесцентно активных устойчивых центров окраски с полосами свечения при рентгеновском возбуждении в синей (430 – 440 нм) и красной (~ 650 нм) областях спектра. Однако дозовая зависимость выхода люминесценции центров окраски в объемных кристаллах NaF в известном по патенту РФ № 2243573, в котором использовалась методика ионного облучения, не определялась, а возможность использования импульсной катодолюминесценции центров окраски в кристаллах фторида натрия для обнаружения наноразмерной фракции частиц этого материала в рамках метода люминесцентной индикации в известном патенте РФ № 2243573 не упоминается и не обсуждается. Известная по патенту РФ № 2243573 разработка сцинтилляционных экранов не позволяет обнаруживать наноразмерную фракцию кристаллов фторида натрия в продуктах его плазменного или лазерного распыления.

Известен способ изготовления гетероструктур (патент РФ № 2282214, опубл. 20.08.2006. Бюл. № 23) на основе волоконных кристаллов фторида натрия путем облучения вращающихся волокон NaF пучком ионов гелия или ионов азота с флюенсом $5 \cdot 10^{14} - 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Образующийся вследствие радиационной модификации кристалла приповерхностный дефектный слой имеет повышенное, вызванное воздействием радиации, содержание дефектов в виде центров окраски F_3^+ и F_2 -типа, люминесцирующих в красно-оранжевой области спектра 550 – 650 нм. Однако дозовая зависимость выхода люминесценции центров окраски в волоконных кристаллах NaF при ионном облучении не определялась. Не определялась она в патенте РФ 2282214 или где-либо в другом месте и при импульсном электронном воздействии, то есть при измерениях импульсной катодолюминесценции нанокристаллов NaF. Способ по патенту № 2282214 не позволяет определять наличие наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия в продуктах распыления.

Наиболее близким к заявляемому способу, не требующему применения электронных микроскопов, является способ с использованием спектров импульсной катодолюминесценции кристаллов фторида натрия (А.Н.Черепанов, В.Ю.Иванов, Т.С.Королева, Б.В.Шульгин «Люминесценция объемных, волоконных и наноразмерных кристаллов LiF и NaF», УГТУ-УПИ, 2006. С. 158-159; Photoluminescence properties of NaF:U,Cu bulk and fiber crystals / V. Ivanov, A. Tcherepanov, B. Shulgin, T. Koroleva, C. Pedrini, C. Dujardin // Optical materials. 2006. Vol. 28. P. 1123–1127; Luminescence Spectroscopy of NaF:U bulk and fiber crystals / B. V. Shulgin, A. N. Tcherepanov, V. Yu. Ivanov, T. S. Koroleva, M. M. Kidibaev, C. Pedrini, C. Dujardin // Journal of Luminescence. 2007. Vol. 125, Iss. 1–2. P. 259–265.). Известный способ применяется для обнаружения наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия NaF:U,Cu в продуктах лазерного распыления этих кристаллов по виду тонкой структуры их спектров импульсной катодолюминесценции. Способ позволяет подтвердить наличие или отсутствие нанокристаллической фракции кристаллов NaF:U,Cu на различных подложках, проводя сравнение спектров импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) нанокристаллических и крупноразмерных образцов NaF:U. Спектры ИКЛ для обоих типов образцов приведены на фиг. 1. Как видно из фиг. 1, эти спектры отличаются друг от друга по числу и интенсивности линий. Детальный анализ этих спектров NaF:U, выполненный в известной работе (Люминесценция ионов урана в кристаллах фторида натрия / А. Н. Черепанов, Т. С. Королева, Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, Л. П. Путилов, А. В. Чепкасова // Проблемы спектроскопии и спектро-

метрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. Вып. 22. С. 25 – 74.), показал, что в общем случае в спектрах имеется более сотни линий, связанных с различными центрами свечения, включающими кислородно-урановые комплексы, а именно с девятью «магнитными» и «электрическими» электронно-колебательными сериями излучательных переходов в сложных центрах свечения, содержащих кислород и ионы урана U^{6+} (UO_6F , UO_4F_2+O и др.). Как было отмечено выше, спектры ИКЛ объемных и наноразмерных образцов $NaF:U$ существенно различаются. Их детальный анализ позволяет по интенсивности, по числу линий и по их положению обнаруживать наноразмерную фракцию активированных кристаллов фторида натрия в продуктах лазерной абляции в рамках метода люминесцентной индикации. Однако известный способ непригоден для обнаружения наноразмерных кристаллов неактивированных кристаллов фторида натрия. Неактивированные кристаллы NaF , не содержащие U^{6+} -О-центры свечения, как объемные, так и наноразмерные, обладают широкими синей и красной полосами свечения в спектрах ИКЛ, по виду которых нельзя определить размерность анализируемых кристаллов при сравнении спектров ИКЛ наноразмерных и объемных образцов.

Задачей изобретения является разработка способа обнаружения наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия на подложке в продуктах плазменного или лазерного распыления исходного кристалла фторида натрия.

Поставленная задача осуществляется следующим образом. С использованием спектров импульсной катодолуминесценции проводят обнаружение наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия путем измерения дозовой зависимости световыхода импульсной катодолуминесценции S_k анализируемых продуктов плазменного или лазерного распыления на подложке и последующего сравнения полученной дозовой зависимости S_k с дозовыми зависимостями световыходов импульсной катодолуминесценции для эталонных наноразмерных и объемных кристаллов $S_k^{\text{нано}}$ (эталон) и $S_k^{\text{объем}}$ (эталон) соответственно, причем дозовую зависимость световыхода импульсной катодолуминесценции S_k определяют для синей ($\lambda = 420 - 440$ нм) и красно-оранжевой ($\lambda = 580 - 660$ нм) полос ИКЛ анализируемых продуктов распыления исходных кристаллов фторида натрия для последующего сравнения с эталонными дозовыми зависимостями световыхода $S_k^{\text{нано}}$ и $S_k^{\text{объем}}$, измеренными для синей и красно-оранжевой полос ИКЛ эталонных наноразмерных и объемных кристаллов NaF . При этом дозовую зависимость световыхода S_k для анализируемых продуктов распыления кристаллов фторида натрия, а также для эталонных наноразмерных и объемных кристаллов фторида натрия измеряют после импульсного электронного облучения в пределах флюенса от $8 \cdot 10^{13}$ до $5,5 \cdot 10^{15}$ см⁻² и более, при токе электронного пучка в импульсе 1000 А, длительности импульса 2 нс, длительности светосбора 10 мс, при числе импульсов возбуждения в пачке импульсов 16 или 32 и при общем числе импульсов облучения-возбуждения до 1000 и более.

Вид измеренной дозовой зависимости выхода импульсной катодолуминесценции в синей и красной полосах свечения для анализируемых образцов – продуктов плазменного или лазерного распыления кристаллов NaF , содержащих фракцию наноразмерных кристаллов (или для нанокристаллов NaF , полученных другим возможным способом), сравнивается с видом дозовой зависимости световыхода импульсной катодолуминесценции в тех же синей и красно-оранжевой полосах свечения для эталонных наноразмерных образцов кристаллов NaF (наноразмерность которых подтверждена методами электронной микроскопии) и эталонных большеразмерных образцов кристаллов NaF . Предварительные систематические исследования спектроскопических свойств объемных и наноразмерных кристаллов фторида натрия, включая анализ электронных возбуждений, связанных с центрами окраски этих кристаллов, проведенные при разработке предлагаемого изобретения, показали, что дозовые зависимости световыхода ИКЛ для наноразмерной фракции кристаллов NaF , и для объемных кристаллов NaF , различаются. Для нанокристаллов световыход ИКЛ в синей полосе свечения (во всем диапазоне измерен-

ных флюенсов $8 \cdot 10^{13} - 5,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) монотонно уменьшается, для красно-оранжевой полосы он тоже уменьшается (но в ограниченном диапазоне флюенсов $8 \cdot 10^{13} - 1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$), хотя и незначительно. Для объемных образцов световыход ИКЛ красно-оранжевой полосы увеличивается, начиная с малых доз облучения во всем диапазоне флюенсов $8 \cdot 10^{13} - 5,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и более. Это позволяет делать заключение о наличии или отсутствии наноразмерной фракции кристаллов NaF в продуктах плазменного или лазерного распыления по виду дозовой зависимости световыхода синей и красно-оранжевой полос ИКЛ центров окраски.

Сущность изобретения заключается в следующем. С помощью полностью автоматизированной установки для исследования импульсной катодолюминесценции (типа КЛАВИ-Р, разработкой Института электрофизики УрО РАН) проводят измерение дозовой зависимости S_k световыхода ИКЛ анализируемых образцов – продуктов плазменного или лазерного распыления исходного материнского кристалла NaF на подложке. Предпочтение отдается нелюминесцирующей металлической радиационно устойчивой подложке из молибдена. С помощью КЛАВИ-Р проводят возбуждение ИКЛ анализируемых образцов импульсным электронным пучком, ток пучка в установке КЛАВИ-Р 1000 А, длительность импульса 2 нс, время нарастания импульса 0,6 нс (В.И. Соломонов, С.Г. Михайлов. Импульсная катодолюминесценция и ее применение для анализа веществ. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 183 с.). Доза облучения, получаемая образцом, или флюенс облучения, создаваемый одним выстрелом электронной пушки равен $\sim 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. В предлагаемом способе каждое очередное измерение световыхода ИКЛ проводят после 16 импульсов электронной пушки (для более экспрессного набора дозы). При длительности возбуждающего импульса 2 нс длительность светосбора для каждого измерения составляла 10 миллисекунд. Такое время светосбора достаточно для регистрации основных быстрой и медленной компонент собственной люминесценции в синей полосе ($\lambda = 420 - 440 \text{ нм}$, $\tau_6 < 15 \text{ нс}$ и $\tau_m = 8 - 12 \text{ мкс}$) и быстрой компоненты в красно-оранжевой полосе ($\lambda = 560 - 620 \text{ нм}$, $\tau_6 < 15 \text{ нс}$). Медленная компонента, 2 мкс, в послесвечении полосы $580 - 620 \text{ нм}$ также имеется, однако ее амплитуда составляет 2% от амплитуды быстрой компоненты и может не учитываться. Синяя полоса может быть предположительно связана с возбуждением и девозбуждением F-центров по каналу релаксации $F + e \rightarrow (F^-)^* \rightarrow F^- + h\nu$ (синее свечение) $\rightarrow F + e$, здесь $(F^-)^*$ - возбужденный F^- -центр; и возможно с примешивающимся девозбуждением примесного кислорода, который может находиться в приповерхностных слоях кристаллов NaF в виде сорбатов. Красная полоса однозначно связывается с хорошо известной люминесценцией агрегатных F_2 ($620 - 650 \text{ нм}$) и F_3^+ ($560 - 580 \text{ нм}$) центров. В последнем случае возможны следующие каналы девозбуждения $F_2^- + e \rightarrow (F_2)^* \rightarrow F_2 + h\nu$ (красное свечение) или $F_3 + p$ (дырка) $\rightarrow F_3^+ + \text{экситон} \rightarrow (F_3^+)^* \rightarrow F_3^+ + h\nu$ (оранжевое свечение). Свечение F_2 и F_3^+ -центров происходит одновременно, и проявляется как красно-оранжевое.

Типичный вид спектров ИКЛ для нанокристаллов NaF в диапазоне $350 - 800 \text{ нм}$ показан на фиг. 2. для флюенса $\sim 10^{15} \text{ см}^{-2}$, а для объемных кристаллов NaF на фиг. 3 а,б,в для флюенсов облучения: $8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, $3,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, $5,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ соответственно. Дозовая зависимость S_k световыхода ИКЛ для анализируемых продуктов плазменного или лазерного распыления кристаллов NaF приведена на фиг. 4 для синей и красной полос (обозначено как пик 1 и пик 2 соответственно). Она идентична дозовой зависимости световыхода $S_k^{\text{нано}}$ (эталон) ИКЛ для нанокристаллов NaF, полученных методом плазменного распыления (фиг. 5). Аттестация нанокристаллов NaF, используемых в качестве эталонных, была проведена с помощью электронного микроскопа. Фотография аттестованных, используемых в предлагаемом методе в качестве эталонных нанокристаллов фторида натрия приведена на фиг. 6. Дозовая зависимость эталонного световыхода $S_k^{\text{объ-см}}$ (эталон) ИКЛ объемных кристаллов NaF приведена на фиг. 7. Измерение дозовой зависимости световыхода ИКЛ проводили с использованием $1000 - 3000$ (и более) им-

пульсов электронного возбуждения, что соответствует флюенсу от $8 \cdot 10^{13}$ до $5,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ (и более). После каждого возбуждения кристаллов NaF пучком (16 или 32) электронных импульсов измеряли спектр ИКЛ, в котором хорошо выделялись синяя и красно-оранжевая полосы свечения (пик 1 и пик 2). Программное обеспечение позволяло определить интенсивность этих полос (пиков) J_1 и J_2 :

$$J_k^i = A_i \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{W - W_i}{\sigma_i} \right)^2 \right) \quad (1),$$

где A_i – амплитуда синего или красно-оранжевого пика; k – номер измерения (соответствующий по мере увеличения k все более высоким флюенсам); W_i – центр тяжести пика; σ_i – стандартное отклонение. Затем для каждого k -го измерения после возбуждения образца пачкой (16 или 32) импульсов определялся световыход ИКЛ S_{ki} отдельно для синей и красно-оранжевой полос, равный соответственно площади для синей и красно-оранжевой полос:

$$S_k^i = A_i \cdot \sigma_i \cdot \sqrt{2\pi} \quad (2)$$

Сравнение дозовых зависимостей S_k , приведенных на фиг. 4, 5 и 7, позволяет констатировать следующее. Дозовая зависимость световыхода синей и красно-оранжевой полос ИКЛ для нанокристаллической фракции образцов NaF характеризуется спадом $S_k^{\text{ваво}}$ для синей (в диапазоне флюенсов $8 \cdot 10^{13} - 5,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) и слабым спадом для красно-оранжевой полосы ИКЛ (в диапазоне флюенсов $8 \cdot 10^{13} - 1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) на фиг. 4, 5 и 7. При более высоких флюенсах, чем $1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, электронного облучения возможен рост $S_k^{\text{ваво}}$ для красной полосы. Для дозовой зависимости $S_k^{\text{объем}}$ (эталон) световыход красно-оранжевой полосы ИКЛ возрастает, фиг. 7, при наблюдаемом спаде световыхода синей полосы ИКЛ во всем диапазоне флюенсов. Обнаруживаемое для дозовой зависимости S_k отсутствие роста световыхода для красно-оранжевой полосы ИКЛ кристаллов NaF в диапазоне малых и средних флюенсов $8 \cdot 10^{13} - 1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ является достоверным признаком того, что наблюдаемая ИКЛ связана с нанокристаллами NaF, то есть является признаком наличия нанокристаллической фракции кристаллов NaF в продуктах лазерного или плазменного распыления исходных материнских кристаллов NaF. Наночастицы NaF обладают более высоким совершенством: в них меньше агрегатных центров F_2 и F_3^+ -типа, а имеющиеся и возникающие в результате облучения F_2 -агрегатные центры из-за повышенного отношения поверхность – объем для наночастиц быстрее достигают поверхности нанокристалликов и выходят из игры, то есть не дают того вклада в ИКЛ, который наблюдается для объемных образцов NaF.

Пример 1. Нанокристаллы фторида натрия в виде нанокристаллического покрытия на молибденовой подложке получают методом плазменного распыления с помощью промышленного плазматрона «Пазлар» (изготовитель ОАО «Элакс», г.Зеленоград). Пучок плазмы с температурой $\sim 6000^\circ \text{C}$ легко распыляет исходные кристаллы фторида натрия, которые осаждаются на молибденовой подложке. Схема облучения и распыления показаны на фиг. 8 (Ю.Ю. Упорова, А.Н. Черепанов, Б.В. Шульгин, А.В. Ищенко, В.Б. Малков / Получение низкоразмерных кристаллов фторида натрия // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Екатеринбург, УГТУ-УПИ. 2007. вып. 23. с.83–103). Фотография нанокристаллической фракции кристаллов фторида натрия с мелкими зернами размером до 30 нм, напоминающими «наношерсть», приведена на фиг. 6. Для этой нанокристаллической фракции кристаллов NaF впервые была исследована дозовая зависимость световыхода S_k для синей и красно-оранжевой полос ИКЛ, поэтому она использовалась вначале как анализируемый образец (хотя заведомо был известен ее наноразмерный характер), а затем как эталонный. Измерение световыхода ИКЛ образцов и ее дозо-

вой зависимости S_k были проведены с использованием установки КЛАВИ-Р (разработка Института электрофизики УрО РАН). Ток пучка электронов в импульсе равен 1000 А, длительность импульса 2 нс. Использовалось возбуждение с 16 или 32 импульсами в пачке. В спектре ИКЛ наблюдаются синяя полоса в диапазоне длин волн 350 – 520 нм с максимумом при 420 – 440 нм с длительностью < 15 нс (короткая компонента) и 12 мс (длинная компонента) и красно-оранжевая полоса в диапазоне длин волн 530 – 720 нм с максимумом при 600 – 620 нм с длительностью < 15 нс (основной вклад дает быстрая компонента, амплитуда медленной (2 мкс) компоненты составляет всего 2 % от амплитуды быстрой). Дозовая зависимость S_k , фиг. 4, измерена для ~900 импульсов возбуждения. Наблюдается уменьшение световыхода S_k синей полосы ИКЛ (420 – 440 нм) во всем диапазоне флюенсов электронного облучения, и отсутствие возрастания световыхода S_k красно-оранжевой полосы (580 – 620 нм) в ограниченном диапазоне флюенсов ($8 \cdot 10^{13}$ – $1,5 \cdot 10^{15}$ см⁻²). Такое поведение дозовой зависимости световыхода S_k для синей (420 нм) и для красно-оранжевой (620 нм) полос ИКЛ указывает на наличие наноразмерной фракции кристаллов NaF в продуктах плазменного распыления.

Пример 2. В условиях, описанных в примере 1, проведены измерения дозовой зависимости световыхода S_k ИКЛ объемных кристаллов NaF в синей (420 – 440 нм) и красно-оранжевой полосе (580 – 620 нм). Вид дозовой зависимости S_k объемных кристаллов NaF приведен на фиг. 7. Световыход S_k для синей полосы ИКЛ объемных кристаллов монотонно уменьшается вплоть до ~1100 импульсов электронного облучения, однако в отличие от наноразмерной фракции, для объемных кристаллов NaF наблюдается увеличение световыхода S_k в красно-оранжевой полосе ИКЛ (580 – 620 нм), начиная с малых флюенсов облучения вплоть до максимальных: $8 \cdot 10^{13}$ – $5,5 \cdot 10^{16}$ см⁻² и более.

Пример 3. В условиях, описанных в примере 1, проведены измерения дозовой зависимости световыхода ИКЛ S_k для продуктов распыления кристаллов NaF на молибденовую подложку, полученных в дополнительном эксперименте при меньшем расстоянии от факела плазмы до образца мишени. Измерения дозовой зависимости проведены для синей и красно-оранжевой полос импульсной катодолюминесценции анализируемого продукта плазменного распыления кристаллов фторида натрия. Наблюдаемые зависимости S_k для обеих полос ИКЛ S_k (420 – 440 нм) и S_k (580 – 620 нм) близки к зависимостям S_k , установленным для эталонной наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия, фиг. 5. Небольшое отличие заключается в том, что для зависимости S_k (580 – 620 нм) намечается увеличение световыхода при повышенных флюенсах электронного облучения. Это может указывать на наличие в продуктах плазменного распыления кристаллов NaF не только нанокристаллической фракции, но и фракции из более крупных образований наночастиц. Контрольная проверка этого продукта распыления, проведенная с помощью электронного микроскопа, фиг. 9, показала, что в этом анализируемом продукте плазменного распыления кроме наноразмерных частиц, имеются их кластерные образования размерами 1 – 3 мкм, в которых дефекты типа F₂-центров оказываются более устойчивыми и накапливаются по мере увеличения флюенса облучения, не уходят на поверхность как в нанокристаллах, что и приводит к некоторому увеличению S_k при флюенсах > $5 \cdot 10^{15}$ см⁻².

Пример 4. В условиях, описанных в примере 1, были проведены измерения дозовой зависимости световыхода S_k (420 – 440 нм) и S_k (580 – 620 нм) для низкоразмерных продуктов, полученных не методом плазменного распыления, а методом лазерной абляции (лазерного распыления). Вид дозовых зависимостей $S_k^{\text{доза}}$ (420 – 440 нм) и $S_k^{\text{доза}}$ (580 – 620 нм) оказался близким к зависимостям, зафиксированным для эталонных наноразмерных образцов, фиг. 4, что подтверждает наличие в этих продуктах наноразмерной фракции кристаллов NaF. Преимуществом предлагаемого способа является его

экспрессность. Процедура занимает несколько десятков минут. Кроме того, для осуществления предложенного способа не требуется электронный микроскоп при наличии эталонных образцов.

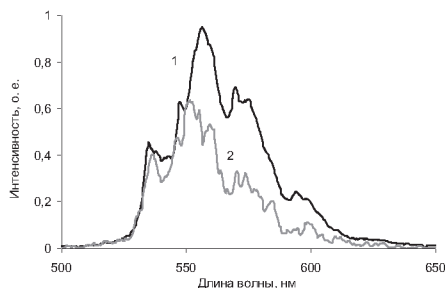
Пример 5. При измерении дозовой зависимости в условиях, отличных от условий примера 1, возбуждение проводили, используя не 16 (32), а один импульс в пачке импульсов электронного возбуждения. Способ при этом условии терял экспрессность из-за возрастания времени набора флюенса облучения, терял точность обнаружения нанокристаллической фракции в продуктах плазменного распыления кристаллов NaF. Точность снижалась из-за частичной потери количества F_2 -центров (их нестабильной части).

Формула изобретения

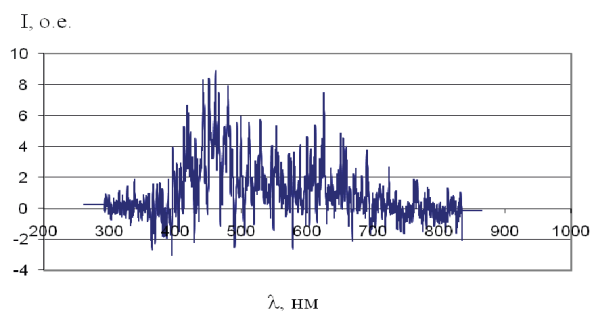
1. Способ обнаружения наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия на подложке в продуктах плазменного или лазерного распыления исходного кристалла фторида натрия, осуществляемый с использованием спектров импульсной катодолуминесценции (ИКЛ) фторида натрия, отличающийся тем, что обнаружение наноразмерной фракции кристаллов фторида натрия проводят путем измерения дозовой зависимости световыхода импульсной катодолуминесценции S_k анализируемых продуктов плазменного или лазерного распыления на подложке и последующего сравнения полученной дозовой зависимости S_k с дозовыми зависимостями световыходов импульсной катодолуминесценции для эталонных наноразмерных и объемных кристаллов $S_k^{\text{нано}}$ (эталон) и $S_k^{\text{объем}}$ (эталон) соответственно.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что дозовую зависимость световыхода импульсной катодолуминесценции S_k определяют для синей ($\lambda = 420 - 440$ нм) и красно-оранжевой ($\lambda = 580 - 660$ нм) полос ИКЛ анализируемых продуктов распыления исходных кристаллов фторида натрия для последующего сравнения с эталонными дозовыми зависимостями световыхода $S_k^{\text{нано}}$ и $S_k^{\text{объем}}$, измеренными для синей и красно-оранжевой полос ИКЛ эталонных наноразмерных и объемных кристаллов NaF.

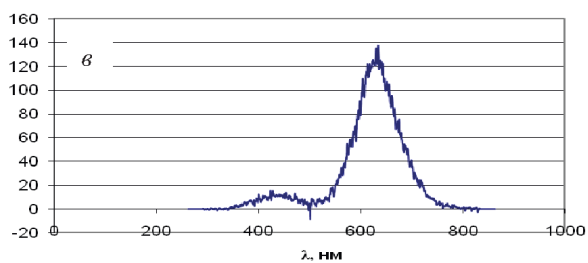
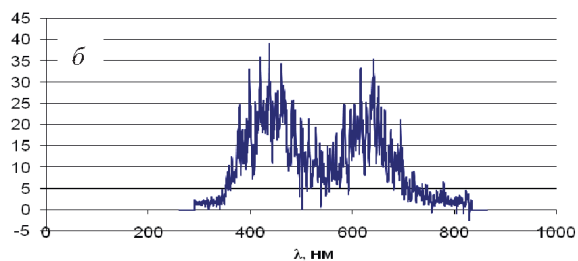
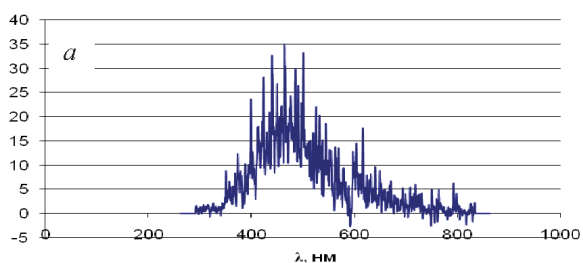
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что дозовую зависимость световыхода S_k для анализируемых продуктов распыления кристаллов фторида натрия, а также для эталонных наноразмерных и объемных крупноразмерных кристаллов фторида натрия измеряют после импульсного электронного облучения в пределах флюенса от $8 \cdot 10^{13}$ до $5,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и более при токе электронного пучка в импульсе 1000 А, длительности импульса 2 нс, длительности светосбора 10 мс, при числе импульсов облучения-возбуждения в пачке импульсов 16 или 32, и при общем числе импульсов облучения-возбуждения до 1000 и более.



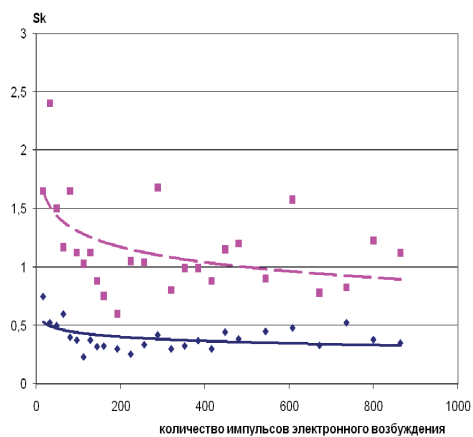
Фиг. 1



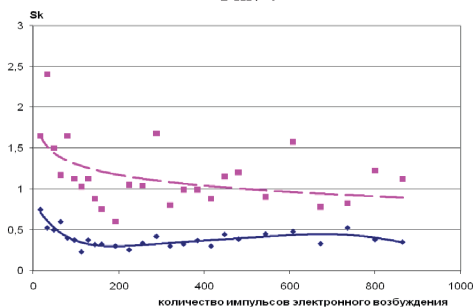
Фиг. 2



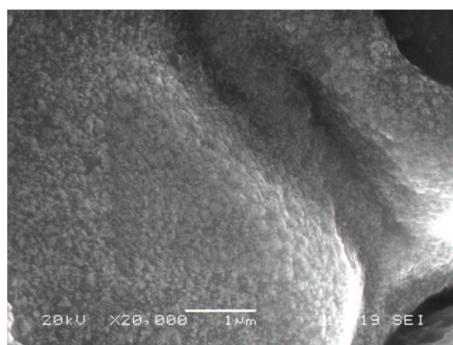
Фиг. 3



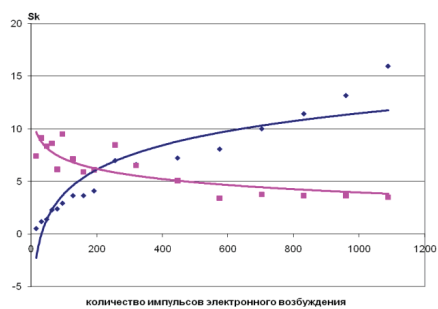
Фиг. 4



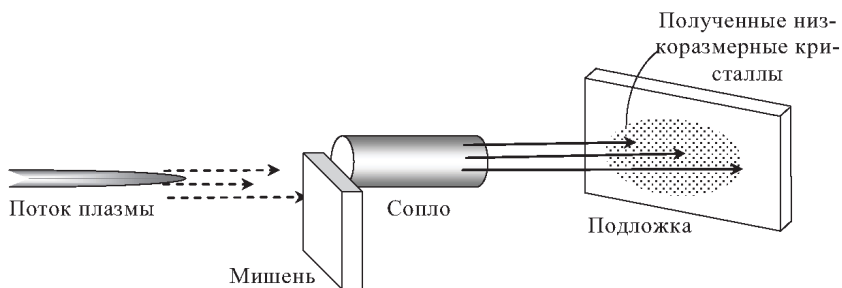
Фиг. 5



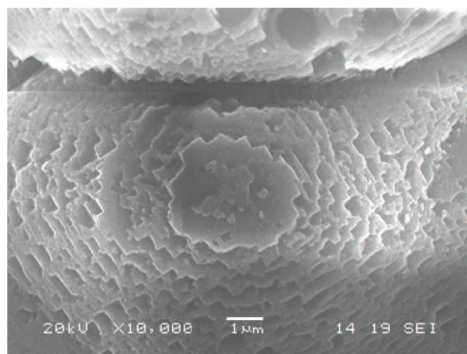
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

Реферат

Изобретение относится к области вычислительной техники и может найти применение в вычислительных системах с параллельной обработкой информации и высоким быстродействием, особо для реализации функций многозначной логики от произвольного числа переменных.

Задачей изобретения является повышение скорости обработки информации в вычислительных системах с параллельной обработкой информации, особо для реализации функций многозначной логики от произвольного числа переменных. Эта задача решается за счет того, что:

Многофункциональный модуль содержит блоки из n элементов «И» и сумматора с $n+1$ входом, и соединенный с ним логический блок, выход которого является выходом модуля, причем модуль дополнительно содержит $r-1$ блок из n элементов «И» и сумматора с $n+1$ входом, а логический блок представляет собой r цепей из последовательно включенных частотно-модулированного генератора запуска, радиоимпульсного автогенератора со схемой самогашения, приемно-излучающей системы радиоимпульсного автогенератора, причем выход каждого блока из n элементов «И» и сумматора с $n+1$ входом соединен с одной цепью из последовательно включенных частотно-модулированного генератора запуска, радиоимпульсного автогенератора со схемой самогашения, приемноизлучающей системы радиоимпульсного автогенератора, входящих в состав логического блока, а в качестве выхода модуля использованы приемноизлучающие системы радиоимпульсных автогенераторов логического блока.

Технический результат: реализация многозначных выходных функций от произвольного числа входных переменных с автоматическим округлением сумм взвешенных входных переменных, уменьшение количества активных элементов, снижение энергопотребления, повышение надежности, уменьшение количества проводников электрического тока как внутри многофункционального модуля, так и при монтаже вычислительных систем с применением многофункционального модуля, повышение степени распараллеливания вычислительных процессов, повышение скорости обработки информации.

Описание изобретения

Изобретение относится к области вычислительной техники и может найти применение в вычислительных системах с параллельной обработкой информации и высоким быстродействием, особо для реализации функций многозначной логики от произвольного числа переменных.

Известен универсальный логический модуль (авторское свидетельство А1 SU 1282113, МПК G06F7/00, опубл. 07.01.1987), содержащий информационные входы, группы настроенных входов, группу входов кода номера реализуемой функции, блоки элементов «И», сумматоры по модулю два, логические блоки, реализующие порождающие функции, и элемент «ИЛИ». Число логических блоков, реализующих порождающие функции, равно числу классов функций, образующих полную систему. Блоки элементов «И» осуществляют покомпонентное умножение n входных информационных переменных на значения настроечных переменных на первых n группах настроечных входов модуля. Полученные произведения покомпонентно складываются по модулю два со значениями настроечных переменных на $(n+1)$ -й группе настроечных входов модуля. По заданному номеру реализуемой функции выходы сумматоров по модулю два коммутируются с входами одного из логических блоков, реализующего соответствующую по-

рождающую функцию. На выходе логического блока формируется значение логической функции, которое через элемент «ИЛИ» поступает на выход модуля.

Однако известный универсальный логический модуль обладает следующими недостатками, не позволяющими в полной мере реализовать преимущества обработки информации с многозначной логикой:

- модуль реализован на элементах двоичной логики, что не позволяет минимизировать количество соединений внутри модуля;
- модуль содержит большое количество логических блоков (число логических блоков, реализующих порождающие функции, равно числу классов функций, образующих полную систему);
- логические блоки реализованы на элементах двоичной логики, что не позволяет минимизировать количество соединений внутри блоков;
- блоки содержат большое количество логических элементов двоичной логики, следовательно, велико и общее количество активных элементов, что снижает надежность и повышает энергопотребление;
- применение такого модуля не приводит к существенному сокращению межэлементных связей между функциональными узлами в вычислительных системах, т. е. не повышает степень распараллеливания вычислительных процессов и скорость их выполнения.

Из всех известных устройств наиболее близким к заявляемому является многофункциональный модуль (авторское свидетельство А1 SU 1451678, МПК G06F7/00, опубл. 15.01.1989), содержащий n блоков элементов «И», $(n+1)$ -сумматор, логический блок, информационные входы модуля, группу настроечных входов модуля, настроечный вход модуля и выход модуля. На информационные входы модуля подаются входные переменные, на настроечные входы – сигналы настройки. На выходе многофункционального модуля реализуются функции K -значной логики от произвольного числа n переменных.

Однако известный многофункциональный модуль обладает следующими недостатками, не позволяющими в полной мере реализовать преимущества обработки информации с многозначной логикой:

- логический блок модуля реализован с применением элементов двоичной логики, что не позволяет минимизировать количество соединений внутри блока;
- блок содержит большое количество логических элементов двоичной логики, следовательно, велико и общее количество активных элементов, что снижает надежность и повышает энергопотребление;
- применение такого модуля не приводит к существенному сокращению межэлементных связей между функциональными узлами в вычислительных системах, т. е. не повышает степень распараллеливания вычислительных процессов и скорость их выполнения.

Задачей изобретения является повышение скорости обработки информации в вычислительных системах с параллельной обработкой информации, особо при реализации функций многозначной логики от произвольного числа переменных.

Эта задача решается за счет того, что многофункциональный модуль содержит блок из n элементов «И» и сумматора с $n+1$ входом, и соединенный с ним логический блок, выход которого является выходом модуля, причем модуль дополнительно содержит $r-1$ блок из n элементов «И» и сумматора с $n+1$ входом, а логический блок представляет собой r цепей из последовательно включенных частотно-модулированного генератора запуска, радиомпульсного автогенератора со схемой самовозбуждения, приемно-излучающей системы радиопульсного автогенератора, причем выход каждого блока

из n элементов «И» и сумматора с $n+1$ входом соединен с одной цепью из последовательно включенных частотно-модулированного генератора запуска, радиоимпульсного автогенератора со схемой самогашения, приемно-излучающей системы радиоимпульсного автогенератора, входящих в состав логического блока, а в качестве выхода многофункционального модуля использованы приемно-излучающие системы радиоимпульсных автогенераторов логического блока.

Сущность изобретения заключается в том, что функции многозначных логик реализуются аналоговой физической системой, по меньшей мере, из 2-х взаимодействующих радиоимпульсных автогенераторов со схемами самогашения, находящихся в состоянии фазовой синхронизации частот самогашения колебаний радиоимпульсных автогенераторов, и обладающей многоуровневой характеристикой. Это позволяет применять для обработки информации более эффективные (по сравнению с двухзначной логикой) алгоритмы многозначных логик, а также позволяет создать посредством электромагнитного поля параллельные каналы связи между выходом многофункционального модуля и входами других функциональных элементов вычислительных систем, что, в свою очередь, позволяет последние разнести в пространстве на значительные расстояния и сократить количество монтажных соединений проводниками электрического тока.

Следствием является повышение скорости обработки информации, снижение технологических трудностей, связанных с размещением большого количества проводников в условиях ограниченного объема или в микросхемном исполнении при создании параллельных вычислительных систем, снижение энергопотребления и повышение надежности.

Изобретение поясняется чертежами, на которых изображены: на фиг. 1 – структурная схема предлагаемого многофункционального модуля, на фиг. 2 – структурная схема логического блока многофункционального модуля.

Многофункциональный модуль (фиг. 1) содержит: блоки из n элементов «И» 1 и сумматора 2 с $n+1$ входом, логический блок 3, информационные входы 4 элементов «И» модуля, настроечные входы 5 элементов «И» модуля, настроечные входы 6 сумматоров модуля, входы 7 логического блока и выходы логического блока 8.

Логический блок многофункционального модуля (фиг. 2) содержит: входы 7 логического блока, цепочки последовательно включенных частотно-модулированного генератора запуска 9, радиоимпульсного автогенератора 10 со схемой самогашения и приемно-излучающей системой 8 радиоимпульсного автогенератора в качестве выхода логического блока.

Предлагаемое сочетание элементов логического блока позволяет реализовать выходные функции многозначных логик, используя явление взаимной фазовой синхронизации частот самогашения ансамбля периодически запускаемых высокочастотных автогенераторов – радиоимпульсных автогенераторов.

Многофункциональный модуль работает следующим образом.

Сигналы, представляющие входные переменные $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; \dots; x_{n(r-1)+1}, \dots, x_j, \dots, x_m$ (где: n – произвольное число входных переменных одного блока из n элементов «И» 1 и сумматора 2 с $n+1$ входом, r – число входов логического блока 3, а общее число входных переменных $m = n \cdot r$), подаются на соответствующие информационные входы 4 элементов «И» 1 модуля. На настроечные входы 5 элементов «И» 1 модуля подаются настроечные сигналы (весовые коэффициенты) $w_1, \dots, w_i, \dots, w_n; \dots; w_{n(r-1)+1}, \dots, w_j, \dots, w_m$ соответственно, на настроечные входы 6 сумматоров 2 подаются настроечные сигналы (уровни порогов) $w_0, \dots, w_0, \dots, w_0$. В результате на выходах элементов «И» 1 формируются сигналы, представляющие результаты умножения входных переменных $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; \dots; x_{n(r-1)+1}, \dots, x_j, \dots, x_m$ на весовые коэф-

коэффициенты $w_1, \dots, w_i, \dots, w_n; \dots; w_{n(r-1)+1}, \dots, w_j, \dots, w_m$ соответственно. Сигналы, представляющие результат сложения $w_0 \cdot \overline{x_k}$ ($k = \overline{1, r}$) с произведениями $w_i \cdot x_i, \dots, w_j \cdot x_j$ ($i = \overline{1, n}; j = \overline{n(r-1)+1, m}$) с выходов сумматоров 2 подаются на входы 7 логического блока 3, реализующего многозначные логические функции от сумм произвольного числа входных переменных.

Логический блок многофункционального модуля (см. фиг. 2) работает следующим образом.

Сигналы с выходов сумматоров 2 (фиг. 1) поступают на входы 7 логического блока 3 (фиг. 2), и, соответственно, на управляющие входы частотно-модулированных генераторов запуска 9, которые задают частоты запуска и, соответственно, эти же частоты гашения колебаний радиоимпульсных автогенераторов 10 со схемами самогашения.

Логический блок реализует выходные функции многозначных логик, используя явление взаимной фазовой синхронизации частот самогашения ансамбля периодически запускаемых радиоимпульсных автогенераторов (РИА) 10.

Процесс фазовой синхронизации частот самогашения ансамбля из 2-х РИА описывается одномерным отображением окружности вида:

$$\phi_{n+1} = \phi_n + \Omega - \frac{K}{2\pi} \sin(2\pi\phi_n), \quad \text{mod } 1; \quad (1)$$

где: ϕ - разность фаз частот самогашения взаимодействующих РИА; Ω - расстройка частот самогашения РИА; K - амплитуда взаимодействия РИА. Так как функция в правой части выражения (1) периодическая с периодом 1, то рассматриваются значения Ω на интервале $[0, 1)$, которые получаются с помощью функции $\text{mod } 1$.

Для описания фазовой синхронизации частот самогашения ансамбля из $N+1$ радиоимпульсных автогенераторов применяется N -мерное отображение окружности.

Для ясности изложения принципа работы логического блока рассмотрим пример реализации одномерного отображения окружности.

Одномерное отображение окружности можно трактовать как вращение радиус-вектора в плоскости, характеризуемое числом вращения θ - средней угловой скоростью вращения изображающей точки по окружности, т. е. для начальной точки ϕ_0 число вращения определяет средний сдвиг фаз на одну итерацию:

$$\theta = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\phi_n - \phi_0}{n}. \quad (2)$$

где: в числителе дроби стоит полный угол поворота радиус-вектора за n итераций отображения; ϕ_n - значение переменной через n итераций без учета операции $\text{mod } 1$. Рассматривая выражение (1) как модель динамики разности фаз частот самогашения 2-х РИА, число вращения θ можно трактовать как частоту биений (т. е. разность частот самогашения РИА), отнесенную к частоте самогашения одного из РИА.

В области $K \leq 1$ предел (2) существует и не зависит от начальной точки ϕ_0 . При рациональном значении $\theta = p/q$, где p и q - взаимно простые числа, отображение окружности имеет неподвижные точки или циклы с периодом q . Числитель p определяет число оборотов изображающей точки по окружности за q итераций.

Зависимость $\theta(\Omega)$ числа вращения θ от расстройки Ω частот самогашения 2-х РИА описывается самоподобной (фрактальной) кривой, именуемой в нелинейной дина-

мике «чертовой лестницей» (фиг. 3). Эта кривая примечательна тем, что имеет бесконечное множество порогов или участков синхронизации, которые и предлагается использовать в качестве реализаций выходных функций многозначных логик (на фиг. 3 обозначено 10 наиболее широких порогов с соответствующими рациональными отношениями чисел вращения). Число реализаций выходных функций зависит от числа используемых РИА, диапазона отношений частот самогашения РИА и величины шума в системе.

Логический блок предлагаемого многофункционального модуля реализует эту многопороговую зависимость $\theta(\Omega)$ и производит вычисление значений выходных функций многозначных логик в зависимости от величин сумм взвешенных сигналов входной информации (входных переменных).

В качестве примера, рассмотрим минимально возможную реализацию логического блока в составе 2-х РИА.

Пусть отношения частот самогашения F_1 и F_2 для 2-х РИА изменяются в диапазоне от 1/1 до 1/10. Тогда в системе из 2-х взаимосвязанных РИА в соответствии с выражением (1) возможно существование 32-х устойчивых состояний (состояний синхронизации), когда отношения частот $F_1/F_2 = p/q$, где p и q – взаимно простые числа (см. таблицу №1). Поставив в соответствие каждому такому устойчивому состоянию системы выходную многозначную функцию как результат обработки 2-х сумм взвешенных сигналов входной информации, можно получить 32 их реализации.

Таблица №1

p/q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
2	X	X	2/3	X	2/5	X	2/7	X	2/9	X
3	X	X	X	3/4	3/5	X	3/7	3/8	X	3/10
4	X	X	X	X	4/5	X	4/7	X	4/9	X
5	X	X	X	X	X	5/6	5/7	5/8	5/9	X
6	X	X	X	X	X	X	6/7	X	X	X
7	X	X	X	X	X	X	X	7/8	7/9	7/10
8	X	X	X	X	X	X	X	X	8/9	X
9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9/10
10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

где: X – дублированные и линейно-зависимые отношения, которые не учитываются.

Эти реализации получаются на выходах 8 логического блока в виде спектров электромагнитного излучения 2-х РИА, находящихся в состоянии взаимной фазовой синхронизации, и доступны для дистанционного съема подобной же системой (или несколькими системами) из 2-х РИА, осуществляющей дискретный по значениям частот самогашения и последовательный во времени обзор возможных реализаций выходных многозначных функций в соответствии с таблицей №1. Для параллельного же во времени обзора соответственно потребуется 32 системы из 2-х РИА, уже попарно настроенных по значениям частот самогашения на возможные реализации выходных многозначных функций.

В общем же случае сигналы с выходов сумматоров 2 (фиг. 1) поступают на входы 7 логического блока 3 (фиг. 2), и, соответственно, на управляющие входы частотно-модулируемых генераторов запуска 9, которые задают частоты запуска $F_1/F_2/\dots/F_{k-1}/F_k/\dots/F_{r-1}/F_r$ и, соответственно, эти же частоты гашения колебаний РИА 10 со схемами самогашения. Парные значения сигналов с выходов сумматоров 2 определя-

ют попарно рациональные отношения частот $F_1/F_2/...F_{k-1}/F_k...F_{r-1}/F_r$ в заданном диапазоне, как описано выше в принципе представления функций многозначных логик (для описанного примера из 2-х РИА - в диапазоне отношений частот $F_1/F_2 = p/q$ от 1/1 до 1/10).

При попарно рациональных значениях отношений частот $F_1/F_2/...F_{k-1}/F_k...F_{r-1}/F_r$ из допустимого набора значений (для 2-х РИА допустимый набор значений отношений частот F_1/F_2 определяется таблицей №1), РИА оказываются в состоянии взаимной синхронизации частот самогашения, и это состояние будет сохраняться сколь угодно долго, при условии, что уровни входных сигналов логического блока также не изменяются (разрушающие воздействия, такие как нестабильность питающего напряжения, нестабильность параметров элементов и электромагнитные помехи при этом не учитываем). Это состояние есть реализация многозначной выходной функции от произвольного числа входных переменных многофункционального модуля и ей будет соответствовать строго определенный спектр электромагнитного излучения r взаимно синхронизированных РИА (число которых r определяется максимальной кратностью периода q - см. таблицу № 1), и доступный для считывания с выходов 8 логического блока другими подобными системами.

При непрерывном изменении входных сигналов 7 логического блока 3 условие попарно рациональных отношений частот $F_1/F_2/...F_{k-1}/F_k...F_{r-1}/F_r$ может не выполняться, и тогда состояние синхронизации не наступает (т. е. состояние логического блока находится между 2-мя соседними порогами многопороговой зависимости $\theta(\Omega)$ (см. фиг. 3)). Такие состояния - состояния квазипериодических биений будут являться «незначущими» состояниями логического блока. Эти состояния будут недоступны для дистанционного съема другим подобным (принимающим) системам, как описано выше, и состояния принимающих систем будут оставаться неизменными, пока в логическом блоке не выполнятся условия очередной синхронизации. Эту особенность функционирования многофункционального модуля можно рассматривать как автоматическое округление сумм произвольного числа входных переменных, поскольку многофункциональный модуль реализует выходные многозначные функции от произвольного числа переменных дискретно (фиг. 3).

Отличительными особенностями предлагаемого многофункционального модуля, позволяющими реализовать новые полезные качества, является следующее.

Многофункциональным модулем реализуются аналоговые многоуровневые операции многозначных логик, что позволяет применять более эффективные алгоритмы многозначных логик, сократить количество активных элементов и соединительных проводников по сравнению с цифровыми устройствами, построенными на основе двоичной логики, снизить энергопотребление, повысить надежность.

Многофункциональный модуль осуществляет автоматическое округление сумм произвольного числа взвешенных входных переменных.

Одновременно логический блок многофункционального модуля позволяет создать посредством электромагнитного поля параллельные каналы связи между выходом многофункционального модуля, в качестве которого используются приемно-излучающие системы РИА, и входами других функциональных элементов вычислительных систем. Это в свою очередь позволяет разнести в пространстве на значительные расстояния многофункциональный модуль и другие функциональные элементы вычислительной системы и сократить количество монтажных соединений проводниками электрического тока при монтаже вычислительной системы.

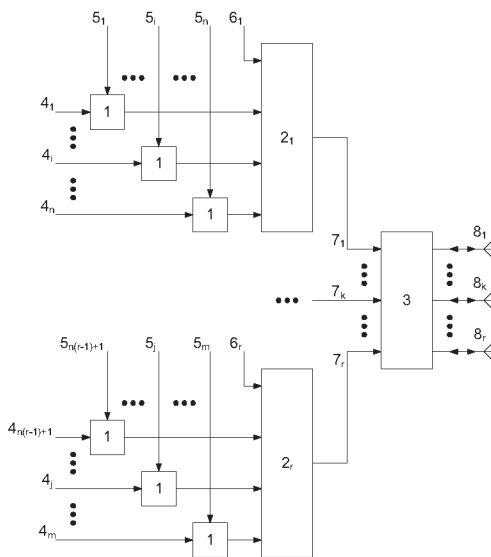
Предлагаемый многофункциональный модуль реализуется средствами аналоговой электроники, технологически пригоден к микросхемному исполнению, в том числе и средствами нанотехнологий.

Эти свойства заявляемого многофункционального модуля являются существенными отличиями по сравнению с уже известными аналогичными устройствами.

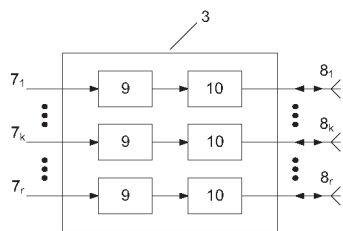
Формула изобретения

1. Многофункциональный модуль, содержащий блок из n элементов «И» и сумматора с $n+1$ входом, и соединенный с ним логический блок, выход которого является выходом модуля, отличающийся тем, что модуль дополнительно содержит $r-1$ блок из n элементов «И» и сумматора с $n+1$ входом, а логический блок представляет собой r цепей из последовательно включенных частотно-модулированного генератора запуска, радиоимпульсного автогенератора со схемой самогашения, приемно-излучающей системы радиоимпульсного автогенератора, причем выход каждого блока из n элементов «И» и сумматора с $n+1$ входом соединен с одной цепью из последовательно включенных частотно-модулированного генератора запуска, радиоимпульсного автогенератора со схемой самогашения, приемно-излучающей системы радиоимпульсного автогенератора, входящих в состав логического блока.

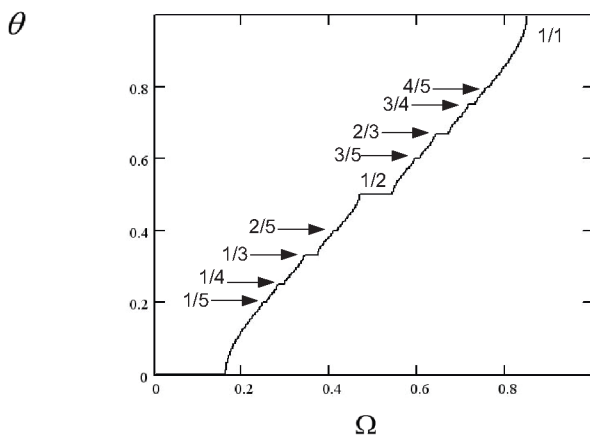
2. Многофункциональный модуль, по п. 1, отличающийся тем, что в качестве выхода модуля использованы приемно-излучающие системы радиоимпульсных автогенераторов логического блока.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Патент № 2357273 РФ. Способ получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, И. И. Мильман, А. В. Кружалов, Ю. Ю. Упорова, А. В. Ищенко, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 11.02.2008; опубл. 27.05.2009. Бюл. №15.

Реферат

Изобретение относится к области дозиметрии нейтронного излучения и может быть пригодно для стационарного контроля плотности потока и флюенсов нейтронов в активной зоне ядерных реакторов, для периодического контроля доз нейтронного облучения реакторных конструкционных материалов, для решения задач радиационного материаловедения, для использования в качестве детекторов сопровождения изделий и предметов медицинского назначения при их стерилизации в ядерном реакторе, а также для высокотемпературных измерений флюенсов нейтронов в сверхглубоких скважинах. Для получения рабочего вещества для ТЛД нейтронов на основе фторида натрия, активированного ураном, готовят исходную шихту в виде смеси ингредиентов, в которую, кроме фторида натрия, активированного ураном, дополнительно вводят примеси скандия и меди при следующем соотношении ингредиентов (мол.%): NaF 99,887–99,988, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,001–0,01, ScF_3 0,01–0,1, CuF_2 0,001–0,003, после чего смесь исходных ингредиентов расплавляют и из расплава выращивают рабочее вещество для ТЛД нейтронов в виде кристаллов методом Киропулоса на воздухе. Технический результат - получение рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов, имеющего основной рабочий пик ТСЛ в высокотемпературной области при 520–525°C, они устойчивы к флюенсам нейтронов ядерного реактора до 10^{16} – 10^{18} см⁻², запасают под действием нейтронов светосумму и из-за малого фединга способны хранить светосумму в течение нескольких лет

Описание изобретения

Изобретение относится к области дозиметрии нейтронного излучения и может быть пригодно для стационарного контроля плотности потока и флюенсов нейтронов в активной зоне ядерных реакторов, для периодического контроля доз нейтронного облучения реакторных конструкционных материалов для решения задач радиационного материаловедения, связанных с контролем доз внутриреакторного облучения испытуемых изделий и материалов, пригодно для использования в качестве детекторов сопровождения изделий и предметов медицинского назначения, подлежащих стерилизации в ядерном реакторе, в качестве датчиков для стационарных и аварийных систем контроля ядерных реакторов атомных электростанций, для высокотемпературных измерений флюенса нейтронов стационарных, транспортных и импульсных ядерных реакторов, а также для высокотемпературных измерений флюенсов нейтронов в сверхглубоких скважинах.

Известно рабочее вещество для термолюминесцентного детектора рентгеновского излучения и электронов на основе кристаллов LiF:U,Cu, LiF:U,Sr, NaF:U,Sr и способ его получения (А.И.Слесарев, А.А.Жамангулов, М.М.Кидибаев, В.С.Кортов, Б.В.Шульгин / Термостимулированная экзoeлектронная эмиссия кристаллов фторидов лития и натрия, активированных ураном // Письма в ЖТФ, 2000, том 20, вып.9, с.60 – 62). В этих кристаллах, имеющих составы LiF:U,Cu, LiF:U,Sr, NaF:U,Sr и выращенных из расплава по способу Киропулоса, после облучения электронами или рентгеновским излучением, наряду с термостимулированной экзoeлектронной эмиссией (ТСЭЭ), наблюдалась при примерно одних и тех же температурах и термостимулированная люминесценция (ТСЛ) с наиболее высокотемпературными пиками при 610 K (337°C) и 714 K (441°C) для LiF:U,Cu; при 699K (426°C) и 737K (464°C) для LiF:U,Sr. Для NaF:U,Sr наиболее высо-

котемпературный пик обнаружен при 702 К (429°C). Однако для известных рабочих веществ для термолюминесцентной дозиметрии с составами LiF:U,Cu, LiF:U,Sr, NaF:U,Sr сведения об их возможных термолюминесцентных свойствах после нейтронного облучения отсутствуют. Кроме того, пики ТСЛ для известных рабочих веществ для термолюминесцентных детекторов расположены при недостаточно высоких температурах не выше 464°C, так что известные рабочие вещества не пригодны для высокотемпературной дозиметрии ионизирующих излучений.

Известны рабочие вещества для термолюминесцентной дозиметрии электронного излучения на основе кристаллов NaF, а именно, NaF:U, NaF:Sr, NaF:Cu, NaF:Pb, NaF:U, NaF:U,Ti и NaF:U,Cr и способы их получения (М.М.Кидобаев, В.К.Дзholdoshov, Т.С.Королева, А.И.Слесарев, В.В.Шулгин, В.Ю.Иванов, А.Н.Тчерепанов, Ч.Педрини, К.Леббу / TSEE (and TSL) of NaU-U,Me compounds after electron beam irradiation // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. Вып.23. С.187-192). Однако для всех получаемых по известным способам вышеперечисленных рабочих веществ, известных только в качестве термолюминесцентных детекторов электронного излучения, пики ТСЛ расположены при температурах, недостаточных для обеспечения высокотемпературных измерений доз излучения. Например, для NaF:U наблюдается 11 пиков ТСЛ, но самый высокотемпературный зафиксирован при 736К (463°C). Вышеупомянутые известные рабочие вещества для термолюминесцентных детекторов были выращены из расплава методом Киропулоса в виде кристаллов, однако о возможности их применения для дозиметрии нейтронов в известном источнике не упоминается, поскольку сведений о чувствительности этих составов к нейтронам не имеется.

Известны спектры поглощения и спектры импульсной катодолюминесценции составов LiF, LiF:Sc, LiF:U, NaF, NaF:Eu, NaF:Sr, NaF:Yb, NaF:0,01%U, NaF:0.1%U, NaF:U,Ti, облученных нейтронами с реактора с флюенсом 10^{16} см^{-2} (В.В.Шулгин, В.Ю.Иванов, А.Н.Тчерепанов, В.Л.Петров, А.В.Анипко, Е.Г.Нешов, М.М.Кидобаев, Т.С.Королева, В.И.Соломонов, О.А.Каigorodova / Neutron, ion and electron Induced defects In activated LiF and NaF Srugle crystals // Phys.stat.sol. (c) vol. 4, № 3, 1126-1129 (2007)). Однако в известном источнике нет даже упоминания о термолюминесцентных свойствах этих составов после облучения их нейтронами и о возможности использования этих составов в качестве рабочих веществ для термолюминесцентных детекторов.

Известно рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов на основе ^6LiF (с обогащением по изотопу ^6Li) - это термолюминесцентный детектор TLD-700 (Horowitz Y.S et. al. Limitation of the paired LiF TLD 600, 700 Technique for The estimation of gamma ray dose in mixed n- γ radiation fields: The effect of thermal neutrons. – Nucl. Instr. and Methods, 1970. V.160, p.317-320). Однако известный детектор TLD-700 предназначен для регистрации только тепловых нейтронов (ядерная реакция $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$). Он является почти идеальным детектором тепловых нейтронов для задач персональной дозиметрии. Однако он не применяется для внутриреакторной дозиметрии, поскольку в спектре нейтронов деления доминируют быстрые нейтроны. Известные рабочие вещества TLD-600, 700 непригодны для высокотемпературной ($\geq 350^\circ\text{C}$) дозиметрии нейтронов, поскольку их рабочие пики ТСЛ расположены при $T < 350^\circ\text{C}$.

Известны рабочие вещества для термолюминесцентных детекторов тепловых нейтронов на основе фторидных и оксидных систем (И. Х. Шавер, В.Г.Кронгауз / Термолюминесцентный метод дозиметрии нейтронов // Люминесцентные приемники и преобразователи ионизирующего излучения. Новосибирск. Наука. Сибирское отделение. 1985. С.61-72; Oberhofer M., Jaspert J./ Radiation Dosimeter. – G.B. Patent № 1180246, 1970. МПК G01T-1/100). Это составы на основе LiF, ^6LiF , ^7LiF , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$, LiF:Mg,Ti, $\text{CuSO}_4\text{:Tm}$, $\text{CaF}_2\text{:Mn}$, $\text{CaF}_2\text{:Dy}$, CaF_2 природный, BeO, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{:Tb}$, Al_2O_3 , стекла, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7\text{:Dy}$ и LiF-LiH по G.B.Patent. Однако известные рабочие вещества для термолю-

минесцентных детекторов (ТЛД) нейтронов обладают пиками ТСЛ при невысоких температурах – ниже 350°C. Это удобно для персональной дозиметрии, однако, такие детекторы непригодны для высокотемпературных измерений доз флюенсов нейтронов. Они непригодны для использования в качестве ТЛД детекторов с длительным (годы) сроком хранения дозиметрической информации при повышенных температурах (аварийный режим) хранения детекторов. Они непригодны для измерения доз нейтронов в сверхглубоких скважинах при рабочих температурах от 400°C и выше.

Наиболее близким к заявляемому является способ получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов на основе кристаллов NaF:U (Б.В.Шульгин, И.И.Мильман, А.В.Кружалов, А.Н.Черепанов, Ю.Ю.Упорова, М.М.Кидибаев, Т.С.Королева / О термолюминесценции кристаллов Na)F:U, облученных реакторными нейтронами // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург. УГТУ-УПИ. 2008. Вып.24. С. 132). Получаемое по известному способу рабочее вещество для термолюминесцентного детектора на основе кристаллов фторида натрия, активированных ураном, имеет состав (мол %): NaF 99,99 и $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,01, причем уран при синтезе кристаллов вводили в шихту в виде $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$. Кристаллы NaF:U получают из расплава методом Киропулоса. Из кристаллов выкалывают пластинки 5×5×1 мм, которые используют в качестве рабочих веществ для термолюминесцентных детекторов нейтронов.

Однако, кривые термостимулированной люминесценции (ТСЛ) облученных в ядерном реакторе (нейтронами с флюенсом 10^{16} см^{-2}) рабочих веществ NaF:0,01U (мол. %), получаемых по известному способу, имеют рабочие пики ТСЛ при сравнительно невысоких температурах (фиг. 1): пики ТСЛ зафиксированы при 180 – 260°C, при 350 – 375°C для NaF:U. Таким образом, рабочие вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов, получаемые по известному способу, непригодны для высокотемпературных измерений флюенсов нейтронов, они непригодны также для хранения или эксплуатации (в условиях сверхглубоких скважин) при температуре > 420 – 450°C: вся запасаемая ими светосумма будет при такой температуре высвечена и информация о флюенсе нейтронов будет полностью утрачена.

Задачей изобретения является разработка способа получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов, обладающего пиками термостимулированной люминесценции при температурах выше 500°C, устойчивого к высоким флюенсам нейтронов и пригодного для эксплуатации в активной зоне ядерного реактора, для использования в целях дозиметрии нейтронов в радиационных полях с высокой температурой, а также пригодного для длительного хранения при высоких температурах, как элемента базы дозиметрических данных.

Поставленная задача решается за счет того, что для получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов из исходной шихты в виде смеси ингредиентов, содержащей фторид натрия, активированный ураном, в эту исходную шихту дополнительно вводят примеси скандия и меди при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): NaF 99,887–99,988, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,001–0,01, ScF_3 0,01–0,1, CuF_2 0,001–0,003.

Суть изобретения заключается в том, что для получения рабочего вещества для ТЛД нейтронов на основе фторида натрия, активированного ураном, готовят исходную шихту в виде смеси ингредиентов, в которую, кроме фторида натрия, активированного ураном, дополнительно вводят примеси скандия и меди при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): NaF 99,887–99,988, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,001–0,01, ScF_3 0,01–0,1, CuF_2 0,001–0,003, после чего смесь исходных ингредиентов расплавляют и из расплава вырабатывают рабочее вещество для ТЛД нейтронов в виде кристаллов методом Киропулоса на воздухе. Получаемые по предлагаемому способу рабочие вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов в виде кристаллов (таблеток) чувствительны к быст-

рым нейтронам спектра деления (нейтронам активной зоны ядерного реактора), устойчивы к флюенсам нейтронов до 10^{16} - 10^{18} см⁻², запасают под действием нейтронов светосумму, могут хранить ее в течение нескольких лет, а при нагревании высвечивают ее (светосумму) в виде термостимулированной люминесценции с основным рабочим высокотемпературным пиком ТСЛ при 520 – 525°C, фиг. 2.

Пример 1. Для получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов в шихту на основе фторида натрия, активированного ураном, дополнительно вводят примеси скандия и меди при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): NaF 99,988, UO₂(NO₃)₂ 0,001, ScF₃ 0,01, CuF₂ 0,001, после этого смесь ингредиентов тщательно перемешивают, расплавляют в платиновом тигле и из нее выращивают рабочее вещество в виде кристаллов методом Киропулоса на воздухе. Полученное рабочее вещество для термолюминесцентного детектора применяют в виде таблеток (диаметр 5 мм, толщина 1 мм). При облучении рабочих веществ быстрыми нейтронами спектра деления (нейтронами активной зоны ядерного реактора) до флюенса 10^{16} см⁻² в них запасается светосумма. После хранения рабочего вещества в течение полутора лет при его нагревании была высвечена запасенная при облучении нейтронами светосумма в виде термостимулированной люминесценции с пиками ТСЛ при температурах 160°C, 330°C и 525°C, фиг. 2. Основным рабочим пиком ТСЛ рабочего вещества для ТЛД нейтронов, полученного по предлагаемому способу, является высокотемпературный пик при 525°C.

Пример 2. Для получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов в шихту на основе фторида натрия, активизированного ураном, дополнительно вводят примеси скандия и меди при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): NaF 99,887, UO₂(NO₃)₂ 0,01, ScF₃ 0,1, CuF₂ 0,003, после этого смесь ингредиентов тщательно перемешивают, расплавляют в платиновом тигле и из нее выращивают рабочее вещество в виде кристаллов методом Киропулоса на воздухе. Полученное рабочее вещество для термолюминесцентного детектора применяют в виде таблеток (диаметр 5 мм, толщина 1 мм). При облучении рабочих веществ быстрыми нейтронами спектра деления (нейтронами активной зоны ядерного реактора) с флюенсом $2 \cdot 10^{16}$ см⁻² в них запасается светосумма. После хранения рабочего вещества в течение полутора лет при его нагревании была высвечена запасенная при облучении нейтронами светосумма в виде термостимулированной люминесценции с пиками ТСЛ при температурах 330°C и 520°C. Кривые ТСЛ аналогичны кривым, приведенным на фиг. 2. Основным рабочим пиком ТСЛ рабочего вещества для ТЛД нейтронов, полученного по предлагаемому способу, является высокотемпературный пик при 520°C.

Пример 3. Для получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов в шихту на основе фторида натрия, активизированного ураном, дополнительно вводят примеси скандия и меди при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): NaF 99,92, UO₂(NO₃)₂ 0,008, ScF₃ 0,071, CuF₂ 0,001, после этого смесь ингредиентов тщательно перемешивают, расплавляют в платиновом тигле и выращивают рабочее вещество в виде кристаллов методом Киропулоса на воздухе. Полученное рабочее вещество для термолюминесцентного детектора применяют в виде таблеток (диаметр 5 мм, толщина 1 мм). При облучении рабочих веществ быстрыми нейтронами спектра деления (нейтронами активной зоны ядерного реактора) с флюенсом $8 \cdot 10^{16}$ см⁻² в них запасается светосумма. После хранения рабочего вещества в течение полутора лет при его нагревании была высвечена запасенная при облучении нейтронами светосумма в виде термостимулированной люминесценции с более интенсивными, нежели в Примере 2, пиками ТСЛ при температурах 170°C, 235°C, 330°C и 525°C. Кривые ТСЛ по позициям полос ТСЛ аналогичны кривым, приведенным на фиг. 2. Основным рабочим пиком ТСЛ

рабочего вещества для ТЛД нейтронов, полученного по предлагаемому способу, является высокотемпературный пик при 520°C.

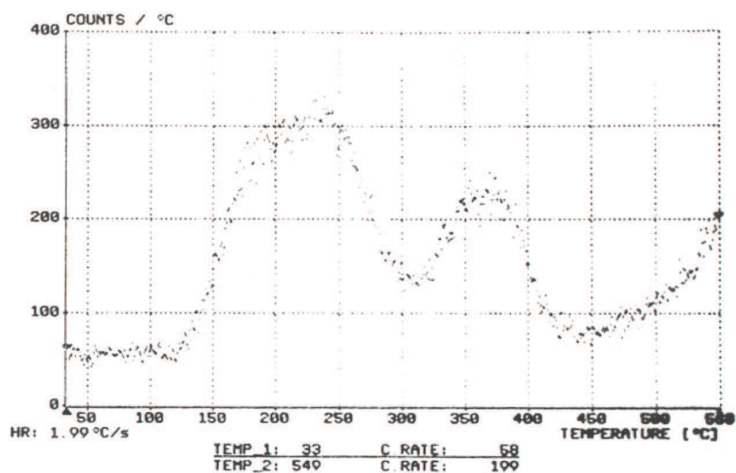
Пример 4. Для получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов в шихту на основе фторида натрия, активизированного ураном, дополнительно вводят примеси скандия и меди при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): NaF 99,98, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,02, после этого смесь ингредиентов тщательно перемешивают, расплавляют в платиновом тигле и выращивают рабочее вещество в виде кристаллов методом Киропулоса на воздухе. Полученное рабочее вещество для термолюминесцентного детектора применяют в виде таблеток (диаметр 5 мм, толщина 1 мм). При облучении рабочих веществ быстрыми нейтронами спектра деления (нейтронами активной зоны ядерного реактора) с флюенсом 10^{16} см^{-2} в них запасается светосумма. После хранения рабочего вещества в течение полутора лет при нагревании была высвечена запасенная при облучении нейтронами светосумма в виде термостимулированной люминесценции с пиками ТСЛ при температурах 200°C, 240°C и 360°C. Высокотемпературный пик ТСЛ отсутствует. Кривые ТСЛ аналогичны кривым, приведенным на фиг. 1. Основным рабочим пиком ТСЛ такого рабочего вещества является низкотемпературный пик при 240°C. Интенсивность термовысвечивания в области основного пика ТСЛ невысокая, она в 3–4 раза ниже, чем для рабочих веществ для ТЛД, получаемых по предлагаемому способу.

Дополнительным преимуществом рабочих веществ для ТЛД, получаемых по предлагаемому способу является возможность их применения для высоккодозных измерений нейтронных, ионных и электронных пучков.

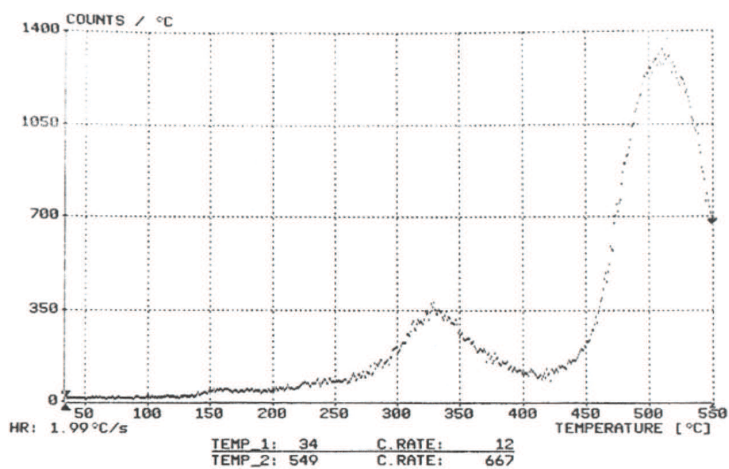
Получаемые по известному способу рабочие вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов, имеющие состав NaF:U, Sc, Cu, обладают высокотемпературным пиком ТСЛ при температуре 520 – 525°C. Они устойчивы к флюенсам нейтронов до 10^{16} – 10^{17} см^{-2} и выше, имеют малый фединг и, соответственно, могут хранить и хранят дозиметрическую информацию в течение ряда лет (проверено для 2,5 лет). Предлагаемые рабочие вещества для ТЛД нейтронов пригодны для использования в дозиметрических целях в активной зоне ядерного реактора, пригодны для эксплуатации при высоких температурах в горячих камерах, хранилищах и складах отработанного ядерного топлива от атомных электростанций. Пригодны для работы в сверхглубоких скважинах при температурах до 300 – 400°C.

Формула изобретения

Способ получения рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов из исходной шихты в виде смеси ингредиентов, содержащей фторид натрия, активированный ураном, отличающийся тем, что в исходную шихту дополнительно вводят примеси скандия и меди при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): NaF 99,887–99,988, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,001–0,01, ScF_3 0,01–0,1, CuF_2 0,001–0,003.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент № 2357385 РФ. Измеритель тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки / К. О. Хохлов, Ю. И. Матяш. Заявл. 04.02.2008; опубл. 27.05.2009. Бюл. № 15.

Реферат

Использование: для измерения тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки. Сущность: заключается в том, что измеритель тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки содержит рентгеновскую трубку с заземленным катодом, источник высокого напряжения, плюсовой вывод которого подключен к аноду рентгеновской трубки, датчик анодного тока, вход которого подключен к минусовому выводу источника высокого напряжения, и делитель напряжения, подключенный параллельно источнику высокого напряжения, при этом датчик анодного тока выполнен в виде преобразователя тока в напряжение на операционном усилителе с резистором в цепи отрицательной обратной связи, к входу которого подключен минусовой вывод источника высокого напряжения. Технический результат: упрощение схемы измерения и стабилизации тока анода рентгеновской трубки, а также расширение диапазона стабилизированных рабочих токов анода рентгеновской трубки.

Описание изобретения

Заявленное изобретение относится к области рентгентехники, а именно к портативным рентгеновским генераторам, применяющимся при рентгенофлюоресцентном анализе, преимущественно - к проблеме измерения и стабилизации тока анода и напряжения на аноде рентгеновских излучателей (рентгеновских трубок, далее - РТ) с заземленным катодом, в переносных рентгенофлюоресцентных спектрометрах.

Известны устройства (Авт.св. 784032 СССР, H05G 1/ 32; Авт.св. 711708 СССР, H05G 1/32), предназначенные для питания РТ, имеющие в своем составе измерители тока анода и напряжения на аноде. В качестве датчика анодного тока трубки используется токоизмерительный резистор. Резистор является преобразователем тока анода в сигнал напряжения, который служит для измерения и/или является сигналом обратной связи для стабилизации тока анода. В качестве измерителя напряжения на аноде используется измерительный делитель напряжения.

Известны устройства (Авт.св. 1221767 СССР, H05G 1/34; Авт.св. 514456 СССР, H05G 1/34), предназначенные для питания РТ, имеющие в своем составе измерители тока анода. В качестве датчика анодного тока трубки используется токоизмерительный резистор, который включен в разрыв цепи между общим проводом и одним из выводов высоковольтного источника питания.

Известно устройство (Авт.св. 1141595 СССР, H05G 1/32), содержащее измеритель тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки, который необходим для выработки сигналов обратной связи анодного тока и напряжения на аноде с целью измерения и стабилизации этих параметров у рентгеновской трубки с заземленным катодом в составе рентгеновского аппарата. Фиг.1 демонстрирует измеритель тока анода и напряжения на аноде, который содержит источник высокого напряжения 1, представляющий собой высоковольтный умножитель напряжения, рентгеновскую трубку 2, датчик анодного тока 3 и делитель напряжения 4. Ток анода рентгеновской трубки 2 измеряется датчиком анодного тока 3, представляющим собой токоизмерительный резистор, который включен в разрыв цепи между общим проводом и минусовым выводом источника высокого напряжения 1. Такое включение позволяет формировать сигнал обратной связи на резисторе относительно общего провода, который пропорционален току анода. Делитель напряжения 4 предназначен для измерения напряжения на аноде. Он представляет собой высоковольтный резистивный делитель, вырабатывающий сигнал обратной связи относительно общего провода, пропорциональный напряжению на аноде РТ. Приведенный

измеритель тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки выбран в качестве прототипа.

Прототип имеет недостаток, заключающийся в том, что сигналы, соответствующие току анода и напряжению на аноде имеют различную полярность относительно общего провода. Этот недостаток приводит к необходимости предусматривать дополнительные электрические цепи (двуполярный источник питания измерительных и стабилизирующих узлов, дополнительный источник питания, инвертор сигнала тока анода и т.п.).

Заявляемое изобретение позволяет упростить схему измерения и стабилизации тока анода РТ, а также значительно расширить диапазон стабилизированных рабочих токов анода РТ без существенного усложнения (даже с упрощением) схемотехнических решений.

Поставленная задача решается следующим образом.

Измеритель тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки, содержащий рентгеновскую трубку с заземленным катодом, источник высокого напряжения, плюсовой вывод которого подключен к аноду рентгеновской трубки, датчик анодного тока, вход которого подключен к минусовому выводу источника высокого напряжения, и делитель напряжения, подключенный параллельно источнику высокого напряжения, отличающийся тем, что датчик анодного тока выполнен в виде преобразователя тока в напряжение на операционном усилителе с резистором в цепи отрицательной обратной связи, к входу которого подключен минусовой вывод источника высокого напряжения.

Разработан измеритель тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки (фиг. 2), содержащий источник высокого напряжения 1, рентгеновскую трубку 2, датчик анодного тока 3 и делитель напряжения 4.

Устройство работает следующим образом. Источник высокого напряжения 1 вырабатывает высокое напряжение, необходимое для питания анода рентгеновской трубки 2. Минусовой вывод источника высокого напряжения 1 подключен к входу датчика анодного тока 3. Датчик анодного тока 3, предназначенный для формирования сигнала, пропорционального току анода, представляет собой преобразователь тока в напряжение, выполненный на операционном усилителе (ОУ) с резистором R в цепи отрицательной обратной связи. Особенностью такой схемы является значение потенциала на инвертирующем входе ОУ, который равен потенциалу общего провода, при условии, что ОУ находится в линейном режиме работы (так называемый «виртуальный ноль»). Таким образом, минусовой вывод источника высокого напряжения 1 подключен к нулевому потенциалу через «виртуальный ноль», и на плюсовом выводе источника высокого напряжения 1 формируется положительное высокое напряжение относительно общего провода, которое подается на анод РТ 2. Анодный ток является вытекающим с входа датчика анодного тока 3 на минусовой вывод источника высокого напряжения 1. Следовательно, на выходе схемы преобразователя тока в напряжение формируется положительное напряжение $U = R \cdot I_a$, которое и является сигналом обратной связи, пропорциональным току анода. Делитель напряжения 4 предназначен для измерения напряжения на аноде РТ, который вырабатывает положительное напряжение сигнала относительно общего провода, и этот сигнал пропорционален напряжению на аноде. Для исключения протекания тока делителя через контур протекания тока анода нижний вывод делителя 4 подключен к точке «виртуального нуля». Такое включение устраняет погрешность измерения тока анода, вследствие протекания тока делителя через резистор обратной связи R . В результате получаем как сигнал анодного тока, так и сигнал напряжения на аноде одинаковой полярности. В данном случае – положительной относительно общего провода. Проведенные испытания показали уверенное измерение и стабилизацию тока анода в пределах 5 микроампер – 5 миллиампер (цифры ограничены только способностью РТ и ОУ – в конкретном случае – AD820).

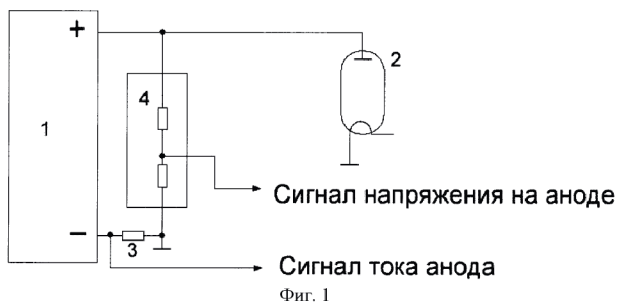
Заявляемый измеритель тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки имеет следующие преимущества:

- не требует двуполярных или дополнительных источников питания; и
- дополнительных преобразователей напряжений для цепей измерения и стабилизации, или инверторов сигналов, что существенно упрощает и удешевляет схему рентгеновских генераторов, содержащих такой измеритель;
- позволяет использовать для питания рентгеновских генераторов, содержащих заявляемый измеритель, однополярный источник питания (батарею или аккумулятор).

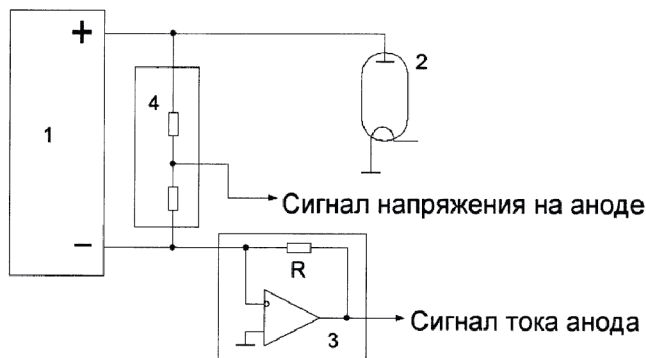
Перечисленные преимущества особенно важны для переносной рентгеновской аппаратуры.

Формула изобретения

Измеритель тока анода и напряжения на аноде рентгеновской трубки, содержащий рентгеновскую трубку с заземленным катодом, источник высокого напряжения, плюсовой вывод которого подключен к аноду рентгеновской трубки, датчик анодного тока, вход которого подключен к минусовому выводу источника высокого напряжения, и делитель напряжения, подключенный параллельно источнику высокого напряжения, отличающийся тем, что датчик анодного тока выполнен в виде преобразователя тока в напряжение на операционном усилителе с резистором в цепи отрицательной обратной связи, к входу которого подключен минусовой вывод источника высокого напряжения.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент № 2361239 РФ. Способ получения волоконных сцинтилляторов / Л. В. Жукова, А. Н. Черепанов, Н. В. Примеров, А. С. Корсаков, Б. В. Шульгин, А. И. Чазов, В. В. Жуков. Заявл. 07.04.2008; опубл. 10.07.2009. Бюл. №19.

Реферат

Изобретение относится к сцинтилляционным материалам, конкретно к волоконным сцинтилляторам, предназначенным для измерения ионизирующих излучений. Способ получения волоконных сцинтилляторов, включающий разогрев материала сцинтиллятора с последующим формированием структуры волокна, характеризующийся тем, что разогрев материала сцинтиллятора осуществляют при температуре 170 – 180°C, давлении 120 – 140 кг/см², при этом формирование волокна проводят методом экструзии со скоростью 1,5 – 2,0 м/час, а в качестве материала сцинтиллятора используют галогениды металлов при следующем соотношении ингредиентов, мас. %:

хлорид серебра	18,0 – 20,0
бромид серебра	79,4–80,5
иодид серебра	0,1–0,5
иодид одновалентного таллия	0,5 – 1,0

Технический результат – получение методом экструзии из кристаллов на основе твердых растворов галогенидов серебра, легированных ТII, гибких и длинных волоконных сцинтилляторов, обладающих максимумом спектра свечения на длине волны 550 нм.

Описание изобретения

Изобретение относится к сцинтилляционным материалам, конкретно, к волоконным сцинтилляторам, предназначенным для измерения ионизирующих излучений.

Гибкие и длинные сцинтилляционные волоконно-оптические кабели необходимы для использования в комплексах и системах радиационного мониторинга с целью обнаружения делящихся материалов и радиоактивных веществ в недоступных для обычных детекторов каналах, щелях, лабиринтах, трубах и т. д., а также для регистрации нейтрино при глубоководных измерениях.

Известен способ микровытягивания из расплава люминесцентных (сцинтилляционных) кристалловолокон на основе LiF или NaF, активированных ураном (U), либо скандием (Sc), либо стронцием (Sr) в количестве 0,1 мол. % (Люминесценция объемных, волоконных и наноразмерных кристаллов LiF и NaF / А.Н.Черепанов, В.Ю.Иванов. Т.С.Королева, Б.В.Шульгин. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. С. 33 – 78). Способ включает разогрев шихты в тигле до температуры плавления с последующим пропусканием расплава сквозь капилляр, затем следует кристаллизация заправки на игле и ее передвижение вдоль оси капилляра тигля со скоростью от 0,1 до 0,86 мм/мин. Недостатки способа и получаемых им волокон: небольшая скорость роста волокна и длина (несколько см). Волокна имеют непостоянный диаметр по длине, что приводит к потерям сцинтилляционного излучения, и их невозможно изогнуть.

Наиболее близким техническим решением является способ получения кристаллических волоконных сцинтилляторов методом лазерного разогрева на основе NaF:Cu и NaF:U, Sc, который включает локальный разогрев лазерным лучом монокристаллического либо поликристаллического стержня при одновременном растягивающем воздействии на него с оптимальной скоростью движения заготовки и волокна, что обеспечивает формирование структуры волокна (Люминесценция объемных, волоконных и нано-

размерных кристаллов LiF и NaF / А.Н.Черепанов, В.Ю.Иванов. Т.С.Королева, Б.В.Шульгин. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. С. 53–60).

Но и этим методом полученные волоконные сцинтилляторы имеют форму, только близкую к цилиндрической, при этом волокна вытягивают короткими (до 5 см) с малой скоростью роста $\approx 0,8$ мм/мин. Они не подлежат изгибу, т.к. ломаются. Кроме того, способ лазерного разогрева является непроизводительным и энергозатратным.

Задачей изобретения является разработка производительного и энергосберегающего способа получения гибких и длинных нанокристаллических волоконных сцинтилляторов, обладающих максимумом спектра свечения на длине волны 550 нм и имеющих цилиндрическую форму по всей длине волокна.

Поставленная задача решается за счет того, что разогрев материала сцинтиллятора осуществляют при температуре 170 – 180°C, давлении 120 – 140 кг/см², при этом формирование волокна проводят методом экструзии со скоростью 1,5 – 2,0 м/час, а в качестве материала сцинтиллятора используют галогениды металлов при следующем соотношении ингредиентов, мас. %:

Хлорид серебра	18,0 – 20,0
Бромид серебра	79,4-80,5
Иодид серебра	0,1-0,5
Иодид одновалентного таллия	0,5 – 1,0

Новые волоконные сцинтилляторы получают из сцинтилляционных кристаллов на основе твердых растворов галогенидов серебра, легированных иодидом одновалентного таллия. Содержание в кристаллах TlI и AgI обеспечивает сцинтилляционные свойства волокон. Они пластичны и не обладают эффектом спайности, в отличие от указанных в прототипе кристаллов NaF и LiF. Поэтому из них получают методом экструзии, т.е. выдавливанием монокристаллической заготовки через фильеру, длинные, до 50 м и более, гибкие волоконные сцинтилляторы, имеющие строго цилиндрическую форму по всей длине волокна, что обеспечивает прохождение сцинтилляционного излучения по волокну практически без потерь. Подобные волокна невозможно получить из известных сцинтилляционных кристаллов LiF, NaF, CsI и других, в том числе из оксидных сцинтилляторов. Новые волокна допускают многократный изгиб до радиуса 5 мм без изменения оптических свойств, что объясняется их нанокристаллической структурой. Кроме того, способ экструзии, по сравнению с методами микровытягивания и лазерного разогрева, является энергосберегающим и производительным, т.к. скорость получения волокна 1,5 – 2,0 м/час, а в прототипе около 0,04 м/час.

Для данного состава сцинтилляционных волокон режимы экструзии (температура, давление, скорость) взаимосвязаны и обеспечивают получение нанокристаллической структуры волокна. Если экструдировать волокно при температуре ниже 170°C, то следует применять давление выше 140 кг/см² вследствие повышенной вязкости материала, при этом скорость экструзии становится менее 1,5 м/час, а получаемое волокно является хрупким, т.к. имеет микrokристаллическую структуру, в случае разогрева выше 180°C и давлении ниже 120 кг/м² скорость экструзии становится более 2 м/час. При таких режимах также ухудшаются механические свойства волокна - оно становится хрупким.

Пример 1. Монокристаллическую заготовку диаметром 10 мм высотой 30 мм и составом, мас. %:

Хлорид серебра	18,0
Бромид серебра	80,5
Иодид серебра	0,5
Иодид одновалентного таллия	1,0

поместили в контейнер, разогрели до 170°C и при давлении 140 кг/см² провели экструзию волокна со скоростью 1,5 м/час. Получили 12 м гибкого сцинтилляционного волокна диаметром 0,5 мм по всей длине. В волокне наблюдается полоса люминесценции с максимумом на длине волны 550 нм. Волокно имеет нанокристаллическую структуру с размером зерна до 90 нм, что обуславливает пластичность и прочность волокна.

Пример 2. Методом экструзии получили 12 м гибкого сцинтилляционного волокна диаметром 0,5 мм по всей длине при следующих режимах: температура разогрева монокристаллической заготовки 180°C, давление 120 кг/см², скорость экструзии 2,0 м/час.

Состав волоконного сцинтиллятора, мас. %:

Хлорид серебра	20,0
Бромид серебра	79,4
Иодид серебра	0,1
Иодид одновалентного таллия	0,5

Структура волокна нанокристаллическая с размером зерна от 30 до 60 нм. Максимум спектра свечения наблюдается при $\lambda = 550$ нм.

Пример 3. При температуре 175°C и давлении 130 кг/см² получили гибкое волокно диаметром 0,5 мм и длиной 12 м, при скорости выдавливания через фильеру 1,7 м/час. Форма волокна - цилиндрическая. Состав волоконного сцинтиллятора, мас. %:

хлорид серебра	19,0
бромид серебра	80,0
Иодид серебра	0,3
Иодид одновалентного таллия	0,7

Волокно данного состава обладает нанокристаллической структурой с размером зерна до 80 нм. Полоса люминесценции имеет максимум на длине волны $\lambda = 550$ нм.

Пример 4. При режимах, указанных в примере 2, вытянули методом экструзии волоконный сцинтиллятор состава, мас. %:

хлорид серебра	19,00
бромид серебра	80,65
иодид серебра	0,05
иодид одновалентного таллия	0,30

Полоса люминесценции выражена слабо.

Пример 5. При режимах, указанных в примере 1, вытянули методом экструзии волоконный сцинтиллятор состава, мас. %:

хлорид серебра	20,0
бромид серебра	77,5
иодид серебра	1,0
иодид одновалентного таллия	1,5

При таком составе максимум спектра люминесценции смещается в более длинноволновую область спектра.

Технический результат позволяет получать методом экструзии из кристаллов на основе твердых растворов галогенидов серебра, легированных ТП, гибкие и длинные

волоконные сцинтилляторы, обладающие максимумом спектра свечения на длине волны 550 нм, которые востребованы для изготовления сцинтилляционных волоконно-оптических систем радиационного мониторинга и для других применений.

Формула изобретения

Способ получения волоконных сцинтилляторов, включающий разогрев материала сцинтиллятора с последующим формированием структуры волокна, отличающийся тем, что разогрев материала сцинтиллятора осуществляют при температуре 170 – 180°C, давлении 120 – 140 кг/см² при этом формирование волокна проводят методом экструзии со скоростью 1,5 – 2,0 м/ч, а в качестве материала сцинтиллятора используют галогениды металлов при следующем соотношении ингредиентов, мас. %:

Хлорид серебра	18,0 – 20,0
Бромид серебра	79,4-80,5
Иодид серебра	0,1-0,5
Иодид одновалентного таллия	0,5 – 1,0

Патент № 2364614 РФ. Люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал / В. С. Кортюв, А. Ф. Зацепин, С. В. Звонарев, В. В. Иванов, А. С. Кайгородов, В. Р. Хрустов. Заявл. 25.06.2008, опублик. 20.08.2009 Бюл. № 23.

Реферат

Изобретение относится к области создания люминесцентных наноструктурных композиционных керамических материалов на основе диоксида кремния и ортосиликата цинка (виллемита) и может быть использовано при разработке светоизлучающих и светосигнальных устройств, например плазменных дисплейных панелей, световых матричных индикаторов, светофоров и т.п., излучающих определенный цветовой тон видимого спектра. Люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал, содержащий диоксид кремния SiO_2 и допированный марганцем виллемит Zn_2SiO_4 , дополнительно содержит оксид цинка ZnO , при этом диоксид кремния представляет собой кристобалит, виллемит допирован марганцем по формуле $\text{Zn}_{2-x}\text{Mn}_x\text{SiO}_4$, где переменная x принимает значения в пределах от 0,05 до 0,15, составляющие материала взяты в следующем соотношении: кристобалит – 45–55 вес. %, оксид цинка 5–7 вес. %, виллемит 38–50 вес. %, причем размеры зерен кристобалита и оксида цинка находятся в пределах от 55 до 70 нм, а размеры зерен виллемита – в пределах от 10 до 20 нм. Созданный материал обладает излучением повышенной интенсивности зеленого цвета в полосе 500–570 нм и позволяет повысить эффективность возбуждения центров свечения и увеличить квантовый выход.

Описание изобретения

Изобретение относится к области создания люминесцентных наноструктурных композиционных керамических материалов на основе диоксида кремния и ортосиликата цинка (виллемита) и может быть использовано при разработке светоизлучающих и светосигнальных устройств (например, плазменных дисплейных панелей, световых матричных индикаторов, светофоров и т.п.), излучающих определенный цветовой тон видимого спектра.

Наноструктурные композиционные керамические материалы на основе диоксида кремния, характеризующиеся большой величиной отношения площади поверхности к объему матрицы и спецификой взаимосвязи между порами материала, перспективны для создания материалов с люминесценцией в различных участках спектра видимого света. Например, известный наноструктурный диоксид кремния (Люминесцирующие дефекты в наноструктурном диоксиде кремния / В.С.Кортюв, А.Ф.Зацепин, С.В.Горбунов, А. М. Мурзакаев. Физика твердого тела. 2006. Т. 48, вып.7. С. 1205–1211), полученный в частично закристаллизованном виде термическим разложением полисилана (600°C) и последующим отжигом (1400°C), люминесцирует в видимом диапазоне спектра с максимумами в зеленой и голубой областях.

Недостатком такого материала является широкий интервал длин волн люминесценции, что снижает эффективность люминофора при использовании его для формирования излучения в одной из указанных областей спектра.

В соответствии с известными результатами измерений (В.И.Буков, Г.П.Воронков, О.Я.Манаширов, Р.В.Кубрин // Вестник СевКавГТУ, сер. «Физико-химическая», 2003. №1(7). С.79–84 (см. также патент РФ 1648167)) материал аэросил (дисперсный аморфный диоксид кремния SiO_2) люминесцирует с максимумом при 670 нм в полосе 600–750 нм (оранжевый и красный цвета), а ортосиликат цинка Zn_2SiO_4 , допированный марганцем, обладает люминесценцией с максимумом 525 нм в полосе 480–570 нм (зеленый цвет).

Недостатком аморфного диоксида кремния является также пониженная эффективность при использовании только одной из цветовых областей свечения.

Недостаток допированного марганцем ортосиликата цинка заключается в пониженной интенсивности излучения при фотовозбуждении в воздушной среде (энергия фотонов не более 6,0 эВ). Вместе с тем возбуждение фотонами с энергиями более 6,0 эВ требует использования вакуумной среды, что ограничивает практические применения данного материала.

Известен также люминесцентный керамический порошковый материал (патент РФ 2144053), являющийся люминофором с зеленым излучением и представляющий собой смесь порошков - активированный металлами сульфид цинка ZnS:Cu(Au,Al) , активированный тербием борат индия $\text{InBO}_3\text{:Tb}$, а также активированный марганцем виллемит $\text{Zn}_2\text{SiO}_4\text{:Mn}$. В данном материале одна из составляющих (активированный марганцем виллемит) получена путем перемешивания до однородного состояния оксида цинка (цинкит ZnO) в количестве 4 г, двуокиси кремния (SiO_2) в количестве 6 г и сульфата марганца (MnSO_4) в количестве 0,2 г с последующим обжигом при температуре 1200°C в течение двух часов, промыванием и высушиванием.

Недостаток указанного материала заключается в сложности его состава и пониженной интенсивности излучения.

Известен наноструктурный композиционный материал (заявка на изобретение России 2005137151, а также европейская и международная заявки EP 2004/004573, WO 2004/096943), включающий люминесцирующие наночастицы, содержащие ядро, полученное из люминесцирующей соли металла, выбранной из фосфатов, сульфатов или фторидов, в частности, с использованием цинка, окруженное оболочкой, полученной из соли или оксида металла, способных предотвращать или уменьшать перенос энергии от ядра после его электронного возбуждения к поверхности наночастицы. Материал получен термообработкой соответствующих жидких смесей исходных материалов с использованием органических сред при температурах 50 – 350°C. Такой материал с ядром, выполненным из соли церия CePO_4 , а оболочкой - из соли лантана LaPO_4 , люминесцирует одновременно в четырех областях видимого света с максимумами излучения 488, 545, 586 и 617 нм (соответственно, голубой, зеленый, желтый и оранжевый цвета).

Недостатком материала является распределение излучения в нескольких цветовых областях, что снижает эффективность полезного действия люминофора для любой избранной области излучения.

Известен также люминесцентный наноструктурный композиционный материал (патент США 7205048), включающий люминесцирующие наночастицы, содержащие ядро из селенида кадмия CdSe , окруженное оболочкой из сульфида цинка ZnS с органическими включениями. Материал получен обработкой жидких смесей исходных материалов и люминесцирует в полосе 500–600 нм (зеленый и желтый цвета).

Недостатком материала является распределение излучения в двух цветовых областях, снижающее эффективность люминофора для любой из указанных областей излучения.

Наиболее близким к предложенному является люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал (Journal of the Electrochemical Society, 2005, Vol.152, No.9, H146–H151), содержащий частицы, каждая из которых включает ядро из аморфного диоксида кремния SiO_2 , окруженное оболочкой из ортосиликата цинка Zn_2SiO_4 , допированного марганцем в количестве 2 мол.%. Средний диаметр ядра составляет 750 нм, средняя толщина однослойной оболочки - 150 нм, двухслойной - 220 нм. Величины зерен указанной оболочки соответствуют размерам частиц наноструктурных материалов. Материал-прототип получают в два этапа. Сначала изготавливают полуфабрикат, включающий жидкую составляющую и диоксид кремния, путем осуществления химических реакций в растворах с участием тетраэтоксисилана и других компо-

нент с последующим центрифугованием. Затем производят сушку (100–500°C) и отжиг (температурную обработку, спекание) при температуре 1000°C и получают материал с частицами в виде ядер аморфного диоксида кремния, покрытых оболочками из допированного марганцем ортосиликата цинка. Указанный материал обладает люминесценцией с максимумом при 521–522 нм (зеленый цвет).

Недостатком прототипа является пониженная интенсивность излучения.

Задачей изобретения является создание люминесцентного наноструктурного композиционного керамического материала, обеспечивающего люминесценцию с высокой интенсивностью излучения в узкой полосе длин волн видимого диапазона, соответствующей одному зеленому цветовому тону, повышение эффективности возбуждения центров свечения и увеличение квантового выхода.

Для решения поставленной задачи люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал, содержащий диоксид кремния SiO_2 и допированный марганцем виллемит Zn_2SiO_4 , отличается тем, что он содержит дополнительно оксид цинка ZnO , диоксид кремния представляет собой кристобалит, виллемит допирован марганцем по формуле $\text{Zn}_{2-x}\text{Mn}_x\text{SiO}_4$, где переменная x принимает значения в пределах от 0,05 до 0,15, составляющие материала взяты в следующем соотношении: кристобалит – 45–55 вес. %, оксид цинка 5–7 вес. %, виллемит 38–50 вес. %, причем размеры зерен кристобалита и оксида цинка находятся в пределах от 55 до 70 нм, а размеры зерен виллемита – в пределах от 10 до 20 нм.

Технический результат предложенного изобретения заключается в повышении интенсивности излучения и расширении арсенала технических средств (люминесцентных наноструктурных композиционных керамических материалов), интенсивно люминесцирующих в узкой полосе частот видимого спектра, то есть в виде одного цветового тона. А именно, создан люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал, обладающий излучением повышенной интенсивности зеленого цвета в полосе 500–570 нм. Это обеспечивается экспериментально подобранными, указанными выше составом и структурой предложенного материала.

В материале-прототипе люминесценция осуществляется при поглощении возбуждающего излучения находящимися непосредственно в виллемите центрами свечения в виде ионов Mn^{2+} в области энергий 5,0 эВ (вышеуказанный Journal of the Electrochemical Society, 2005, Vol.152, No.9, fig.6). В предложенном материале этот процесс также имеет место, но, кроме того, в нем осуществляется эффективное поглощение возбуждающего излучения в области энергий 5,7 эВ дефектными E' -центрами (центры в виде вакансии атома кислорода с локализованным электроном), находящимися в кристаллической фазе диоксида кремния (кристобалите), и последующая безызлучательная передача этой энергии расположенным в виллемите центрам свечения в виде ионов Mn^{2+} . Действие в предложенном материале обоих указанных процессов обеспечивает повышение эффективности возбуждения центров свечения и увеличение квантового выхода.

На чертеже изображены спектры катодолюминесценции четырех люминесцентных материалов: 1, 2 и 3 – образцы, соответственно, 1, 2 и 3 предложенного материала; 4 – образец 4 материала, состав которого выходит за пределы состава предложенного люминесцентного материала. По оси абсцисс графика отложена длина волны в нанометрах (нм), по оси ординат – интенсивность излучения в относительных единицах (отн.ед).

Спектры приведенной на чертеже импульсной катодолюминесценции возбуждались при комнатной температуре электронным пучком ускорителя RADAN (плотность тока 1 А/см кв., энергия электронов 180 кэВ, длительность импульса 3 нс) и регистрировались с помощью ПЗС-линейки и компьютера.

В нижеприведенной таблице (колонки 1–5) описаны примеры выполнения (состав) предложенного люминесцентного наноструктурного композиционного керамического материала (образцы 1–3, 5–9) и пример выполнения другого люминесцентного

наноструктурного композиционного керамического материала (образец 4), состав и структура которого не соответствуют составу и структуре предложенного материала.

Размеры зерен кристобалита и оксида цинка во всех указанных в таблице образцах находятся в пределах от 55 до 70 нм, а размеры зерен виллемита - в пределах от 10 до 20 нм, за исключением образца 4, размеры зерен всех составляющих которого превышают 120 нм. В таблице (колонка 6) также приведены относительные величины (отн.вел) интенсивности излучения образцов предложенного материала на длине волны 521 нм в сравнении с единичным уровнем излучения образца 4 другого материала.

Как показано на чертеже, значение амплитуды спектра излучения при длине волны 521 нм для предложенного материала (кривая 1, образец 1) составляет 530 относительных единиц, а для материала, состав которого выходит за предложенные пределы (кривая 4, образец 4), значение амплитуды спектра излучения при той же длине волны (521 нм) равно 24 относительным единицам. То есть интенсивность излучения образца 1 предложенного материала в 22,1 раза выше интенсивности излучения образца 4 (колонка 6 таблицы). Интенсивность люминесценции других образцов предложенного материала (1–3, 5–9) в 6,25–21,6 раза превышает интенсивность образца 4. Упомянутые относительные величины уровней интенсивности образцов приведены в таблице.

Ниже описаны примеры способов изготовления описанных в таблице образцов люминесцентных материалов.

Пример 1. Порошок диоксида кремния (аэросил 90) с удельной площадью поверхности $90 \pm 15 \text{ м}^2/\text{г}$ и средним размером частиц $20 \pm 5 \text{ нм}$ формуют прессованием под давлением 0,4 ГПа до получения пористой матрицы диоксида кремния с относительной плотностью 0,35. Формуют прессованием статическим или динамическим. Полученная матрица может иметь форму таблетки диаметром от 10 до 20 мм, толщиной от 0,3 до 1,0 мм или иную требуемую форму (например, форму пластины). Затем шестиводный порошок азотнокислого марганца $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и водный раствор азотнокислого цинка $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, имеющий концентрацию $50 \pm 10 \text{ г/л}$, смешивают в такой пропорции, чтобы на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка приходилось 0,07 г шестиводного порошка азотнокислого марганца. При этом виллемит будет допирован марганцем по формуле $\text{Zn}_{2-x}\text{Mn}_x\text{SiO}_4$, где переменная x имеет значение 0,07, совпадающее с вышеуказанным количеством грамм порошка азотнокислого марганца на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка. Полученную жидкую смесь пропитывают пористую матрицу диоксида кремния. Пропитанную матрицу сушат при температуре, меньшей температуры кипения жидкой составляющей указанной жидкой смеси, в частности при температуре 70°C , в течение 2 часов. Указанный цикл операций пропитка-сушка проводят два раза, до достижения концентрации марганца в 0,41 вес. % от общего конечного веса прессовки. Наконец, производят отжиг высушенной матрицы в атмосфере воздуха при температуре 1200°C в течение 1 часа. В результате получен люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал, состав и интенсивность излучения которого соответствует образцу 1 (таблица). Полученный образец материала в виде упомянутой выше таблетки или в другой форме при необходимости может быть превращен в порошок с требуемыми размерами частиц.

Пример 2. Образец 2 получен способом, описанным в примере 1, за исключением того, что порошок диоксида кремния (аэросил 90) формуют прессованием под давлением 0,5 ГПа до получения пористой матрицы диоксида кремния с относительной плотностью 0,5. Кроме того, шестиводный порошок азотнокислого марганца и водный раствор азотнокислого цинка смешивают в пропорции, когда на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка приходилось 0,15 г шестиводного порошка азотнокислого марганца, а цикл операций пропитка-сушка проводят до достижения концентрации марганца в 0,64 вес. % от общего конечного веса прессовки.

Пример 3. При изготовлении образца 3 использован тот же способ, что и при получении образца 1, за исключением следующего:

- порошок диоксида кремния (аэросил 90) формуют прессованием под давлением 0,3 Па до получения пористой матрицы диоксида кремния с относительной плотностью 0,2;
- шестиводный порошок азотнокислого марганца и водный раствор азотнокислого цинка смешивают в пропорции, когда на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка приходилось 0,05 шестиводного порошка азотнокислого марганца;
- цикл операций пропитка-сушка проводят до достижения концентрации марганца в 0,18 вес. % от общего конечного веса прессовки.

Пример 4. Образец 4 с наиболее низким уровнем интенсивности излучения, не содержащий, в отличие от предложенного материала, кристобалита и оксида цинка, получен способом, отличающимся от способа, описанного в примере 1, следующими признаками. Порошок диоксида кремния (аэросил 90) формуют прессованием под давлением 0,2 ГПа до получения пористой матрицы диоксида кремния с относительной плотностью 0,15. Кроме того, шестиводный порошок азотнокислого марганца и водный раствор азотнокислого цинка смешивают в пропорции, когда на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка приходилось 0,04 г шестиводного порошка азотнокислого марганца, цикл операций пропитка-сушка проводят до достижения концентрации марганца в 0,15 вес. % от общего конечного веса прессовки. Наконец, отжиг высушенной матрицы производят при температуре 1050°C в течение 1,5 часа.

Пример 5. Образец 5 получен способом, описанным в примере 1, за исключением того, что порошок диоксида кремния (аэросил 90) формуют прессованием до получения пористой матрицы диоксида кремния с относительной плотностью 0,4. Кроме того, шестиводный порошок азотнокислого марганца и водный раствор азотнокислого цинка смешивают в пропорции, когда на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка приходилось 0,15 г шестиводного порошка азотнокислого марганца, а цикл операций пропитка-сушка проводят до достижения концентрации марганца в 0,49 вес. % от общего конечного веса прессовки. Отжиг высушенной матрицы производят при температуре 1200°C в течение 5 часов.

Пример 6. При изготовлении образца 3 использован тот же способ, что и при получении образца 1, за исключением следующего:

- порошок диоксида кремния (аэросил 90) формуют прессованием под давлением 0,3 Па до получения пористой матрицы диоксида кремния с относительной плотностью 0,42;
- шестиводный порошок азотнокислого марганца и водный раствор азотнокислого цинка смешивают в пропорции, когда на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка приходилось 0,06 шестиводного порошка азотнокислого марганца;
- сушка пропитанной матрицы диоксида кремния осуществлена при температуре 80°C в течение 4,5 часов.

Пример 7. Образец 7 получен способом, описанным в примере 5, за исключением того, что при смешивании порошка азотнокислого марганца и водного раствора азотнокислого цинка на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка приходилось 0,11 г шестиводного порошка азотнокислого марганца, а цикл операций пропитка-сушка проводят до достижения концентрации марганца в 0,23 вес. % от общего конечного веса прессовки.

Пример 8. Образец 8 получен способом, описанным в примере 6, за исключением того, что при смешивании порошка азотнокислого марганца и водного раствора азотнокислого цинка на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка приходилось 0,1 г шестиводного порошка азотнокислого марганца, а цикл операций пропитка-сушка проводят до достижения концентрации марганца в 0,21 вес. % от общего конечного веса прессовки.

Пример 9. Образец 9 получен способом, описанным в примере 8, за исключением того, что при смешивании порошка азотнокислого марганца и водного раствора азотнокислого цинка на 1 мл водного раствора азотнокислого цинка приходилось 0,07 г шестиводного порошка азотнокислого марганца, цикл операций пропитка-сушка проводят до достижения концентрации марганца в 0,19 вес. % от общего конечного веса прессовки, а отжиг высушенной матрицы производят при температуре 1100°C в течение 0,5 часа.

Формула изобретения

Люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал, содержащий диоксид кремния SiO_2 и допированный марганцем виллемит Zn_2SiO_4 , отличающийся тем, что он содержит оксид цинка ZnO , диоксид кремния представляет собой кристобалит, виллемит допирован марганцем по формуле $\text{Zn}_{2-x}\text{Mn}_x\text{SiO}_4$, где переменная x принимает значения в пределах от 0,05 до 0,15, составляющие материала взяты в следующем соотношении: кристобалит 45–55 вес. %, оксид цинка 5–7 вес. %, виллемит 38–50 вес. %, причем размеры зерен кристобалита и оксида цинка находятся в пределах от 55 до 70 нм, а размеры зерен виллемита - в пределах от 10 до 20 нм.

№ образца материала	Диоксид кремния аморфный, вес. %	Диоксид кремния кристобалит и/или оксид цинка соотв. вес. % вес. %	Виллемит, допирован марганцем, вес. %	Марганец в виллемите $\text{Zn}_{2-x}\text{Mn}_x\text{SiO}_4$ величина x	Относительные величины интенсивности излучения (отн.вел.)
1	—	49	34	0,07	22,1
2	—	45	50	0,15	7,3
3	—	55	38	0,05	6,25
4	72	—	28	0,03	1,0
5	—	47	47	0,15	21,6
6	—	52	42	0,14	20,4
7	—	47	47	0,11	15,5
8	—	52	42	0,10	14,05
9	—	52	42	0,07	11,4

Пат. 2370788 РФ. Неорганический сцинтиллятор / М. М. Кидибаев, К. Шаршеев, У. К. Мамытбеков, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин. Заявл. 02.06.2008; опубл. 20.10.2009. Бюл. №29.

Реферат

Применение: для создания сцинтилляционных датчиков. Сущность: неорганический сцинтиллятор включает сульфаты калия, лития, меди и натрия при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: Na_2SO_4 64,7–65,5, K_2SO_4 33,3–31,5, Li_2SO_4 1–1,5, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1,0 – 1,5. Технический результат: повышение световыхода при регистрации бета-излучения и электронных пучков сцинтилляционным методом.

Описание изобретения

Изобретение относится к дозиметрической технике, связанной с регистрацией бета-излучения и электронных пучков, и пригодно для создания сцинтилляционных датчиков, используемых в комплексах и системах радиационного мониторинга подконтрольных объектов и территорий, зон радиационного загрязнения, а также для целей персональной дозиметрии в рамках сцинтилляционного метода.

Для регистрации бета-излучения и электронных пучков сцинтилляционным методом используют сцинтилляционные материалы с малым эффективным атомным номером $Z_{\text{эф}}$, которые обеспечивают низкое альbedo этих видов излучения, более высокую сцинтилляционную эффективность и повышенный световыход. Сцинтилляционные материалы с большим $Z_{\text{эф}}$ неэффективны для регистрации бета-излучения и электронных пучков.

Известен неорганический сцинтиллятор на основе кристаллов LiI:Eu (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с). Сцинтиллятор LiI:Eu пригоден для регистрации нейтронов и гамма-излучения. Однако, известный неорганический сцинтиллятор с максимумом спектра свечения 480 нм имеет большой эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}} = 52$, что приводит к высокому альbedo бета-излучения и электронных пучков, и соответственно, к снижению эффективности регистрации этих видов излучения.

Известен неорганический сцинтиллятор на основе кристаллов CSi-Tl (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с). Однако этот сцинтиллятор, предназначенный для регистрации гамма-излучения, обладающий свечением с максимумом при длине волны 565 нм, характеризующийся достаточной химической устойчивостью (негигроскопичен), имеет низкую эффективность регистрации бета-излучения и электронных пучков из-за большого $Z_{\text{эф}} = 54$. Кроме того, из-за большого $Z_{\text{эф}}$ он не пригоден для индивидуальной дозиметрии.

Известно упоминание о применении кристаллов сложного сульфата калия и натрия $\text{KNaSO}_4 \cdot \text{Cu}^{2+}$ в качестве абсорбционного и ЭПР-детекторов рентгеновского излучения (Шаршеев К. Асимметрия окружения примесных ионов Cu^{2+} в кристаллах KNaSO_4 / К. Шаршеев, Ч.Т. Ортобаева // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. научных трудов. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 1999. Вып. 1. С. 59–62.; Шаршеев К. Радиационные и примесные центры с переменной валентностью в кристаллах сложных сульфатов щелочных металлов / К. Шаршеев. Каракол-Екатеринбург: Исык-Кульский государственный технический университет, ОАО «Полиграфист», 1999. 209 с). Кристаллы $\text{KNaSO}_4 \cdot \text{Cu}$ были выращены из насыщенного водного раствора при постоянной температуре 35°C с добавлением нескольких капель серной кислоты для получения $\text{pH} = 4–6$ при следующем соотношении ингредиентов для 100 г растворителя: 66,7 г Na_2SO_4 и 33,3 г K_2SO_4 . Примесь меди входила в известный состав в виде дополнительного ингредиента $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в количестве (15 г/л), т. е. в количестве 1,5 г на 100 г рас-

творителя. Кристаллы сложного сульфата калия- натрия, активированного ионами меди, применялись в качестве абсорбционного дозиметра рентгеновского излучения. ЭПР- и абсорбционно-чувствительными центрами в этом сложном сульфате были ионы Cu^{2+} . Однако сцинтилляционные свойства кристаллов $\text{KNaSO}_4\text{:Cu}$, обеспечивающие регистрацию излучения в режиме реального времени, остались для авторов вышеуказанных работ неизвестными. В известных работах эти свойства не описаны и не упомянуты.

Наиболее близким к заявляемому является неорганический сцинтиллятор $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ (Пат. 2148837 РФ, МПК G01T 1/20, 1/202, 3/06 / Б. В. Шульгин, Д. В. Райков, М. М. Кидибаев, К. Шаршеев, М. К. Сатыбалдиева. Заявл. 19.04.1999; опубл. 10.05.2000. Бюл. № 13). Кристаллы неорганического сцинтиллятора $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ обладают синим свечением. Максимум спектра сцинтилляционной вспышки расположен при 435 – 445 нм, полуширина полосы люминесценции 75 нм. Длительность сцинтилляционной вспышки при α -возбуждении 90 нс. Известный неорганический сцинтиллятор $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ предназначен для регистрации нейтронов и α -частиц. Возможность регистрации бета-излучения и электронных пучков сцинтилляционным методом с помощью известного состава $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ в патенте РФ № 2148837 не описана.

Задачей изобретения является разработка неорганического сцинтиллятора для регистрации бета-излучения и электронных пучков на основе сложных сульфатов щелочных элементов, обладающего повышенным световыходом сцинтилляций. Поставленная задача решается благодаря тому, что неорганический сцинтиллятор для регистрации бета-излучения и электронных пучков, включающий сульфаты калия, лития и сульфат меди, дополнительно содержит сульфат натрия при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: Na_2SO_4 64,7–65,5, K_2SO_4 33,3–31,5, Li_2SO_4 1–1,5, $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1,0 – 1,5.

Сущность изобретения заключается в том, что в предлагаемом неорганическом сцинтилляторе по сравнению с известным неорганическим сцинтиллятором изменен состав сложного сульфата щелочных металлов: в качестве ингредиентов используют не только сульфаты калия, лития и меди, в него дополнительно введен сульфат натрия. Ионы меди в виде ионов Cu^+ в предлагаемом составе играют роль активаторных центров свечения. При соотношении ингредиентов, мас. %: Na_2SO_4 64,7–65,5, K_2SO_4 33,3–31,5, Li_2SO_4 1–1,5, $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1,0 – 1,5, предлагаемый неорганический сцинтиллятор обладает максимальным световыходом сцинтилляций, превышающим световыход известного неорганического сцинтиллятора $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ в несколько раз.

Пример 1. Неорганический сцинтиллятор на основе сложных сульфатов щелочных металлов и сульфата меди, имеющий состав, мас. %: Na_2SO_4 – 65,5, K_2SO_4 – 31,5, Li_2SO_4 – 1,5, $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1,5, получают путем растворения этих исходных ингредиентов в воде в соотношении 1:1. При этом образуется насыщенный водный раствор сульфатов, который нагревают до 38°C. Синтез кристаллов ведут при этой температуре методом изотермического испарения. Для обеспечения начального зародышеобразования и стимулирования роста кристаллов сложного сульфата в раствор вводят 5 – 7 капель серной кислоты (для получения pH = 4–6). Полученные кристаллы предлагаемого неорганического сцинтиллятора размерами 6 – 8 мм имели форму бипирамид.

Световыход сцинтилляций для предлагаемого неорганического сцинтиллятора на основе сложных сульфатов измеряли при комнатной температуре с использованием установки КЛАВИ-Р (разработка Института электрофизики УрО РАН), генерирующей импульсные электронные пучки с энергией 150 кэВ, длительностью 2 нс и током в пучке 1000 А. Одновременно для сравнения были проведены аналогичные измерения для кристаллов известного неорганического сцинтиллятора $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ (известного по патенту РФ №2148837). Результаты измерения приведены на фиг. 1. Спектр свечения предлагаемого неорганического сцинтиллятора имеет максимум при 440 – 450 нм, полуширина спектра ~ 80 нм. Быстрая по длительности компонента сцинтимпульса предложенного

сцинтиллятора имела малую амплитуду и практически не регистрировалась, длительность медленной компоненты сцинтимпульса составляла порядка 30 мкс. Световыход сцинтилляций для предлагаемого неорганического сцинтиллятора (Na–K–Li-сульфата, активированного медью), фиг. 1, кривая 1, в 4 раза выше, чем таковой для известного состава $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$, фиг. 1, кривая 2.

Пример 2. Неорганический сцинтиллятор на основе сложных сульфатов щелочных металлов и сульфата меди, имеющий состав, мас. %: $\text{Na}_2\text{SO}_4 - 64,7$, $\text{K}_2\text{SO}_4 - 33,3$, $\text{Li}_2\text{SO}_4 - 1$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} 1$, получают путем растворения этих исходных ингредиентов в воде в соотношении 1:1. При этом образуется насыщенный водный раствор сульфатов, который нагревают до 38°C . Синтез кристаллов ведут при этой температуре методом изотермического испарения свежеприготовленного насыщенного раствора. Для обеспечения начального зародышеобразования и стимулирования роста кристаллов сложного сульфата в раствор вводят 5–6 капель серной кислоты (для получения $\text{pH} = 4-6$). Полученные кристаллы неорганического сцинтиллятора размерами 6–8 мм имели, как и в Примере 1, форму бипирамид.

Световыход сцинтилляций для предлагаемого неорганического сцинтиллятора на основе сложных сульфатов измеряли при комнатной температуре с использованием установки КЛАВИ-Р (разработка Института электрофизики УрО РАН), генерирующей импульсные электронные пучки с энергией 150 кэВ, длительностью 2 нс и током в пучке 1000 А. Одновременно для сравнения были проведены аналогичные измерения для кристаллов неорганического сцинтиллятора $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ (известного по патенту РФ №2148837). Результаты этих сравнительных измерений очень похожи на результаты, полученные в Примере 1 и приведенные на фиг. 1. Спектр свечения предлагаемого неорганического сцинтиллятора имеет максимум при 440–445 нм, полуширина спектра ~ 85 нм. Быстрая по длительности компонента сцинтимпульса предложенного сцинтиллятора имела малую амплитуду и практически не регистрировалась, длительность медленной компоненты сцинтимпульса составляла порядка 30 мкс. Световыход сцинтилляций для предлагаемого неорганического сцинтиллятора (Na–K–Li-сульфата, активированного медью), в 3–4 раза выше, чем таковой для известного состава $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$.

Пример 3. Неорганический сцинтиллятор на основе сложных сульфатов щелочных металлов и сульфата меди, имеющий состав, мас. %: $\text{Na}_2\text{SO}_4 - 65$, $\text{K}_2\text{SO}_4 - 32$, $\text{Li}_2\text{SO}_4 - 1,5$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} 1,5$ получают путем растворения этих исходных ингредиентов в воде в соотношении 1:1. При этом образуется насыщенный водный раствор сульфатов, который нагревают до 38°C . Синтез кристаллов сложных сульфатов ведут при этой температуре методом изотермического испарения свежеприготовленного насыщенного раствора. Для обеспечения начального зародышеобразования и стимулирования роста кристаллов сложного сульфата в раствор вводят 5–7 капель серной кислоты (для получения $\text{pH} = 4-6$). Полученные кристаллы неорганического сцинтиллятора размерами 6–7 мм имели, как и в случае Примера 1, форму бипирамид.

Световыход сцинтилляций для предлагаемого неорганического сцинтиллятора на основе сложных сульфатов измеряли с использованием установки КЛАВИ-Р (разработка Института электрофизики УрО РАН), генерирующей импульсные электронные пучки с энергией 150 кэВ, длительностью 2 нс и током в пучке 1000 А. Одновременно для сравнения были проведены аналогичные измерения для кристаллов неорганического сцинтиллятора $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ (известного по патенту РФ №2148837). Результаты измерения очень похожи на результаты, полученные в Примере 1 и приведенные на фиг. 1. Спектр свечения предлагаемого неорганического сцинтиллятора имеет максимум при 440–445 нм, полуширина спектра ~ 85 нм. Световыход сцинтилляций для предлагаемого неорганического сцинтиллятора (Na–K–Li-сульфата, активированного медью) вышеназванного состава в 3 раза выше, чем таковой для известного состава $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$. Быстрая

по длительности компонента и практически не регистрировалась, длительность медленной компоненты сцинтимпульса составляла 29 мкс.

Пример 4. Неорганический сцинтиллятор на основе сложных сульфатов щелочных металлов и сульфата меди, имеющий состав, мас. %: Na_2SO_4 – 64, K_2SO_4 – 28,5, Li_2SO_4 – 1,5, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 6, получают путем растворения этих исходных ингредиентов в воде в соотношении 1:1. При этом образуется насыщенный водный раствор сульфатов, который нагревают до 35 – 38°C. Синтез кристаллов сложных сульфатов ведут при этой температуре методом изотермического испарения свежеприготовленного насыщенного раствора. Для обеспечения начального зародышеобразования и стимулирования роста кристаллов сложного сульфата в раствор вводят 5 – 7 капель серной кислоты (для получения $\text{pH} = 4$ –6). Полученные кристаллы неорганического сцинтиллятора размерами 3–5 мм имели форму бипирамид.

Световыход сцинтилляций для предлагаемого неорганического сцинтиллятора на основе сложных сульфатов измеряли так же, как и в Примерах 1–3. Результаты измерения отличаются от результатов, полученных в Примерах 1–3 и приведенных ранее на фиг 1 для Примера 1. Спектр свечения неорганического сцинтиллятора с повышенным сверхстехиометрическим содержанием меди имеет максимум при 430 – 450 нм, полуширина спектра ~ 100 нм. Световыход сцинтилляций для этого неорганического сцинтиллятора оказался в 1,5 – 2 раза ниже, чем таковой для известного состава $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$.

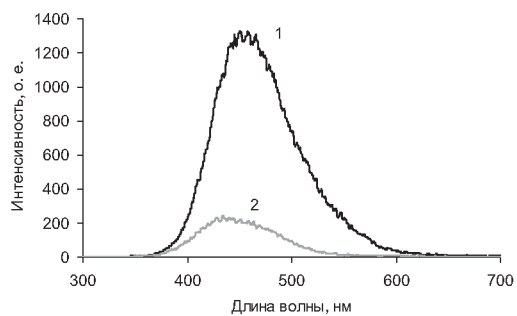
Содержание активирующего ингредиента $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, равное 1,0 – 1,5 мас. % (используемое в Примерах 1 – 3), соответствует его оптимальной концентрации, определяемой изоморфной емкостью сульфатов щелочных металлов. При большей концентрации ионов меди они не могут равномерно распределяться по узлам кристаллической решетки и вместо растворов замещения, образуют различные агрегатные скопления примеси в местах внедрения. Повышенные концентрации активирующей примеси меди в местах ее агрегатных скоплений приводят к концентрационному тушению люминесценции, что существенно снижает световыход сцинтилляций, как было зарегистрировано в Примере 4.

Дополнительными преимуществами предлагаемого неорганического сцинтиллятора являются его повышенная универсальность и избирательность регистрации корпускулярного излучения. Он чувствителен не только к бета-излучению и электронным пучкам, но также к альфа-излучению и тепловым нейтронами. В соответствии с ядерной реакцией ${}^6\text{Li}(\text{n}, \alpha){}^3\text{H}$ тепловые нейтроны поглощаются ядрами изотопа ${}^6\text{Li}$ (до 7% в естественной смеси изотопов) с последующим альфа-распадом и образованием ядер трития. Благодаря образующимся альфа-частицам тепловые нейтроны будут зарегистрированы неорганическим сцинтиллятором предлагаемого состава.

Имея невысокий эффективный атомный номер ($Z_{\text{эф}} < 15$) и соответственно пониженный коэффициент поглощения гамма-излучения, составы неорганического сцинтиллятора на основе Na-K-Li-сульфата, активированные ионами меди, будучи изготовленными в виде кристаллических тонких пластин или пленок, обеспечивают избирательную регистрацию таких видов корпускулярного излучения как бета- излучение, электронные пучки, а также альфа-излучение на фоне электромагнитного гамма-излучения.

Формула изобретения

Неорганический сцинтиллятор для регистрации бета-излучения и электронных пучков, включающий сульфаты калия, лития и сульфат меди, отличающийся тем, что он дополнительно содержит сульфат натрия при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: Na_2SO_4 64,7–65,5, K_2SO_4 33,3–31,5, Li_2SO_4 1–1,5, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1,0 – 1,5.



Фиг. 1

Реферат

Заявленное изобретение относится к области электротехники, в частности к стабилизаторам напряжения, предназначенным для питания электронных приборов, требующих высокого напряжения. Высоковольтный стабилизатор постоянного напряжения, содержащий стабилизирующий элемент, преобразователь напряжения, подключенный к стабилизирующему элементу и к первичной обмотке трансформатора, вторичная обмотка которого подключена к вентильно-конденсаторному блоку. К выходу вентильно-конденсаторного блока подключены две секции блока переключателей, которые позволяют изменять полярность выходного напряжения относительно общего провода. К выходу подключен делитель напряжения. Блок инверсии выполнен на операционном усилителе (ОУ). Инвертирующий вход ОУ соединен через третью секцию переключателя с выходом делителя, а выход - через четвертую секцию переключателя с измерителем сигнала обратной связи. Нижняя точка делителя напряжения соединена с выходом ОУ и четвертой секцией переключателя. К третьей обмотке трансформатора подсоединен вспомогательный выпрямитель, выход которого соединен с измерителем сигнала обратной связи. Технический результат заключается в возможности получения стабилизированного напряжения положительной или отрицательной полярности, что позволяет питать высоковольтные устройства с различным по полярности питанием, а также обеспечивается низкий потенциал на измерительных и регулирующих цепях независимо от полярности напряжения на выходе.

Описание изобретения

Заявленное изобретение относится к области электротехники, в частности к стабилизаторам напряжения, предназначенным для питания электронных приборов, требующих высокого напряжения.

Известны устройства [Авт.св. 1180860 СССР, G05F 1/46, Авт. св. 788090 СССР, G05F 1/56], содержащие трансформатор, высокочастотный преобразователь напряжения и умножитель.

Известно устройство [Авт. св. 1180860 СССР, G05F 1/46] для питания высоковольтных электродов электроннолучевых трубок и других электронных приборов. Представлено на фиг.1. Данное устройство содержит преобразователь напряжения 1 с выходным трансформатором 2, имеющим две вторичные обмотки 3 и 4, вентильно-конденсаторный выпрямитель 5, делитель напряжения 6, регулируемый импеданс 7, являющийся измерителем сигнала обратной связи и выполненный по структуре «регулируемый транзистор – блок сравнения – опорный элемент», вспомогательный выпрямитель 8, стабилизирующий элемент 9, выполненный в виде ключевого стабилизатора тока и предназначенный для регулирования выходного напряжения. Постоянное напряжение от первичного источника питания поступает через стабилизирующий элемент 9 на вход преобразователя 1 напряжения. На вторичной обмотке 3 трансформатора 2 появляется переменное напряжение, которое умножается до необходимой величины и выпрямляется вентильно-конденсаторным выпрямителем 5, после чего прикладывается к нагрузке. Часть выходного напряжения через делитель 6 направляется на вход регулируемого импеданса 7. Данное устройство выбрано в качестве прототипа.

Прототип позволяет вырабатывать напряжение одной полярности. Это приводит к ограничению области применения. Возможно использование прототипа для получения напряжения другой полярности, если заземлить вывод противоположной полярности

вентильно-конденсаторного выпрямителя. Однако в этом случае элементы регулировки будут находиться под высоким потенциалом выходного напряжения.

Заявляемое изобретение описывает устройство, позволяющее вырабатывать напряжение как положительной, так и отрицательной полярности, повышая при этом эффективность его использования за счет большей универсальности и обладает одинаково высокой стабилизацией как положительного, так и отрицательного выходных напряжений, причем обеспечивается низкий потенциал на измерительных и регулирующих цепях независимо от полярности напряжения на выходе.

Поставленная задача решается тем, что в высоковольтный стабилизатор постоянного напряжения, содержащий стабилизирующий элемент, преобразователь напряжения, подключенный к стабилизирующему элементу, трансформатор, первичная обмотка которого подключена к преобразователю напряжения, третья обмотка трансформатора подсоединена к вспомогательному выпрямителю, выход которого соединен с измерителем сигнала обратной связи, а вторичная обмотка подключена к вентильно-конденсаторному блоку, делитель напряжения, отличающийся тем, что дополнительно содержит четырехсекционный блок переключателей и блок инверсии, причем две секции блока переключателей подключены между выходами вентильно-конденсаторного блока и выходом стабилизатора, вход делителя напряжения подключен к первой секции блока переключателей, третья секция блока переключателей включена между выходом делителя напряжения и инвертирующим входом блока инверсии, к выходу которого подключена четвертая секция блока переключателей, соединенная с измерителем сигнала обратной связи, а выход измерителя сигнала обратной связи подключен к стабилизирующему элементу.

На фиг.2 представлено устройство, которое содержит преобразователь напряжения 1, трансформатор 2 с двумя вторичными обмотками 3 и 4, вентильно-конденсаторный блок 5, делитель напряжения 6, измеритель сигнала обратной связи 7, выполненным по типу «регулируемый параметр - блок сравнения - опорный элемент», вспомогательный выпрямитель 8, стабилизирующий элемент 9, выполненный в виде ключевого стабилизатора, блок переключателей 10, блок инверсии 11.

Стабилизирующий элемент 9 подключен к первичной обмотке трансформатора через преобразователь напряжения 1, вторичная обмотка 3 которого подключена к вентильно-выпрямительному блоку 5. К выходу вентильно-конденсаторного блока 5 подключены две секции блока переключателей 10, которые позволяют изменять полярность выходного напряжения относительно общего провода. К выходу устройства подключен делитель напряжения 6. Блок инверсии 11 выполнен на операционном усилителе (ОУ). Инвертирующий вход ОУ соединен через третью секцию переключателя со средней точкой делителя 6, а выход через четвертую секцию переключателя с измерителем сигнала обратной связи 7. Нижняя точка делителя напряжения 6 соединена с выходом ОУ и четвертой секцией переключателя. К вторичной обмотке трансформатора 4 подсоединен вспомогательный выпрямитель 8, который соединен с измерителем сигнала обратной связи 7.

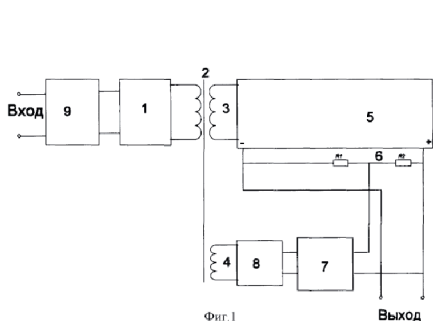
Устройство работает следующим образом. Постоянное напряжение от первичного источника питания поступает через стабилизирующий элемент 9 на вход преобразователя напряжения 1, который формирует сигнал для трансформатора 2. На вторичной обмотке 3 трансформатора появляется переменное напряжение, которое умножается до необходимой величины и выпрямляется вентильно-конденсаторным блоком 5. Часть напряжения через делитель напряжения 6 подается на измеритель сигнала обратной связи 7. Блок переключателей 10 предназначен для выбора необходимой полярности выходного напряжения. Таким образом, при положительной полярности выходного напряжения (все секции блока переключателей в нижнем положении), блок инверсии 11 становится повторителем напряжения, подаваемого на неинвертирующий вход. Так как на этом входе нулевой потенциал общего провода - на выходе тоже ноль. В таком случае

делитель напряжения 6, нижним выводом подключенный к нулю, является делителем высокого положительного напряжения относительно нуля с коэффициентом передачи $K = R_2/(R_2 + R_1)$, и на измеритель сигнала обратной связи 7 подается ослабленное положительное напряжение обратной связи. Выходное напряжение много больше напряжения опорного элемента, поэтому выполняется условие $R_2 \ll R_1$, следовательно формулу можно упростить как $K = R_2/R_1$. Далее сигнал поступает на измеритель сигнала обратной связи 7, в котором происходит сравнение напряжения сигнала обратной связи с напряжением опорного элемента, по результату которого производится регулировка стабилизирующего элемента 9, тем самым происходит стабилизация выходного напряжения. При отрицательной полярности выходного напряжения (все секции блока переключателей 10 в верхнем положении) блок инверсии 11 является инвертирующим с коэффициентом передачи $K = -R_2/R_1$ передает на вход измерителя сигнала обратной связи 7 положительное напряжение с таким же коэффициентом передачи, как и в предыдущем случае. Вспомогательный выпрямитель 8 с вторичной обмоткой 4 используется для формирования напряжения опорного элемента для измерителя сигнала обратной связи 7.

Технический результат заключается в возможности получения стабилизированного напряжения положительной или отрицательной полярности, что дает возможность питать высоковольтные устройства с различным по полярности питанием, а также обеспечивается низкий потенциал на измерительных и регулирующих цепях независимо от полярности напряжения на выходе.

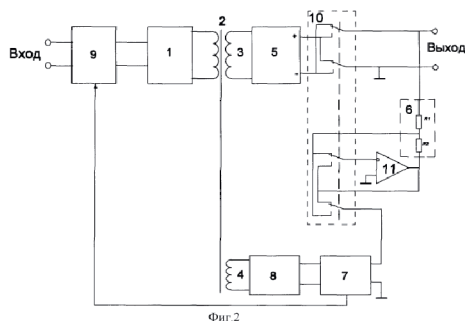
Формула изобретения

Высоковольтный стабилизатор постоянного напряжения, содержащий стабилизирующий элемент, преобразователь напряжения, подключенный к стабилизирующему элементу, трансформатор, первичная обмотка которого подключена к преобразователю напряжения, третья обмотка трансформатора подсоединена к вспомогательному выпрямителю, выход которого соединен с измерителем сигнала обратной связи, а вторичная обмотка подключена к вентильно-конденсаторному блоку, делитель напряжения, отличающийся тем, что дополнительно содержит четырехсекционный блок переключателей и блок инверсии, причем две секции блока переключателей подключены между выходами вентильно-конденсаторного блока и выходом стабилизатора, вход делителя напряжения подключен к первой секции блока переключателей, третья секция блока переключателей включена между выходом делителя напряжения и инвертирующим входом блока инверсии, к выходу которого подключена четвертая секция блока переключателей, соединенная с измерителем сигнала обратной связи, а выход измерителя сигнала обратной связи подключен к стабилизирующему элементу.



Фиг. 1

Выход



Фиг. 2

Пат. 2386112 РФ. Способ измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы / А. Н. Черепанов, А. А. Шолина, Б. В. Шульгин, А. В. Кружалов, Г. Я. Бучок, Р. М. Кадушников, Е. А. Макарова. Заявл. 26.02.2008; опубл. 10.04.2010. Бюл. №10.

Реферат

Использование: для калибровки и настройки ультразвуковых технологических и медицинских аппаратов.

Сущность: измерение колебаний ультразвуковой колебательной системы ведут в проходящем свете, перед установкой и запуском стержневой ультразвуковой колебательной системы на вертикальной оси перекрестия окуляра микроскопа наносят реперную точку, соответствующую величине ожидаемой амплитуды колебаний рабочего элемента колебательной системы, затем устанавливают и закрепляют наконечник стержневой колебательной системы в поле микроскопа вдоль горизонтальной оси перекрестия окуляра микроскопа таким образом, чтобы его конец, образующий черную зону при наблюдении в микроскопе, был расположен в центре поля, затем запускают режим колебаний стержня и наблюдают размах – двойную амплитуду этих колебаний в виде серой зоны с четкими границами, далее смещают стержень параллельно самому себе так, чтобы нижняя точка границы серой и черной зон заняла место в центре перекрестия окуляра, после чего, поворачивая окуляр, совмещают реперную точку с вертикальной границей серой и белой зон, далее удаляют наконечник ультразвуковой колебательной системы из микроскопа и вводят микрометрическую шкалу с известной ценой деления вдоль горизонтального направления, устанавливают длинную риску шкалы так, чтобы она проходила через центр перекрестия окуляра и по числу делений микрометрической шкалы определяют расстояние от центра перекрестия до реперной точки и тем самым определяют двойную амплитуду колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы

Технический результат: измерение амплитуды колебаний стержневой или стержнеподобной ультразвуковой колебательной системы с использованием оптического микроскопа без привлечения дополнительных осветительных блоков и электронных устройств.

Описание изобретения

Изобретение относится к разделу измерительной техники, используемой в ультразвуковых технологиях – к бесконтактной виброметрии, и может быть применено для калибровки и настройки ультразвуковых технологических и медицинских аппаратов, а именно, для измерения амплитуды и размаха колебаний рабочих элементов (наконечников) ультразвуковых систем, применяемых для интенсификации технологических процессов, размерной обработки хрупких и особо твердых материалов, для выполнения граверных работ, а также для медицинских целей (хирургические операции, процедуры липосакции, точечный и зональный массаж и др).

Амплитуда механических колебаний ультразвуковых стержневых и стержнеподобных рабочих элементов (оконечных элементов, например, скальпель-наконечник для хирурга, резец-штихель для гравера, ювелира или скульптора) является их важнейшей характеристикой, поскольку определяет эффективность их работы. Известен целый ряд методов для определения амплитуды ультразвуковых колебаний. Измерения амплитуды и размаха колебаний рабочих элементов ультразвуковых аппаратов относятся к измерениям в области микронного и субмикронного диапазонов.

Известен способ измерения микронных смещений для твердотельных объектов с помощью микроскопа. (И.Н. Богачев, А.А. Вайнштейн, С.Д. Волков. Статистическое металловедение. М. Металлургия. 1984. 176 с; В.Я. Стрижак, А.А. Вайнштейн, А.Г. Хре-

нов. – Заводская лаборатория. 1982. №11. с 77-78). Измерения смещений, в известном методе проводят с помощью микроскопа (МИМ-7 и окулярного микрометра МОВ-1-1,5). При этом на поверхность измеряемого объекта наносят светочувствительный слой и изготавливают с помощью мультипликатора оригинал-эталон фотолитографическим методом с базой 10, 25, 50 и 100 мкм. Затем, с помощью ртутной лампы изображение сетки с эталона с требуемой базой микронного диапазона экспонируют на объект, подлежащий измерению. Сетку можно наносить и механическим способом, царапая алмазной пирамидкой поверхность измеряемого, анализируемого объекта. Такой способ оказался эффективным для определения амплитуды локальных смещений (деформаций) неподвижных образцов. Однако известный метод сложен для реализации и совершенно непригоден для определения амплитуды колебаний движущихся рабочих элементов ультразвуковых аппаратов технического и медицинского назначения. Известный метод непригоден для измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы.

Известны лазерные бесконтактные методы измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы (Макаров Л.О. Акустические измерения в процессах ультразвуковой технологии. – М. Машиностроение, 1983.; Хмелев В.Н., Абраменко Д.С., Савин И.И. Способ измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы. Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: Межвузовский сборник./ Под редакцией Г.В. Леонова. Алт. ГТУ, БТИ, 2004; <http://u-Sonic.ru>). Эти методы позволяют работать в широком диапазоне ультразвуковых частот, однако применяемые в лазерных методах установки для проведения измерений амплитуды колебаний ультразвуковых рабочих элементов являются громоздкими и весьма дорогостоящими, они требуют привлечения дополнительного оборудования и сборки всех элементов измерительного тракта на одной оптической скамье.

Известен способ измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы (Патент №2271521 RU C1, МПК G01H 9/00 от 2006.03.10.). Сущность известного способа сводится к тому, что колебательную систему располагают так, что ее акустическая ось перпендикулярна оптической оси источника светового излучения, совмещают с ней неподвижно установленную излучающую поверхность колебательной системы, освещают колеблющуюся поверхность и по ширине зоны частичной тени визуальным образом измеряют амплитуду колебаний через микроскоп с окулярной шкалой или сеткой. При этом освещение излучающей поверхности осуществляют от источников, формирующих в цилиндрический пучок импульсное световое излучение различных длин волн (цветов), причем длительность импульсов устанавливают равной тысячной доле периода рабочих колебаний колебательной системы, а частоту следования импульсов устанавливают так, что моменты формирования импульсов светового излучения одной длины волн (цвета) совпадают с моментом максимального смещения излучающей поверхности в одном направлении, а момент формирования импульсов светового излучения другой длины волн (цвета) – с моментом максимального смещения в другом направлении, амплитуду колебаний определяют по относительному смещению изображений излучающей поверхности в моменты формирования импульсов светового излучения различных длин волн (цветов). Известный способ позволяет определять амплитуду колебаний в пределах от 10 мкм до 350 мкм. Однако в известном способе используют режим работы с микроскопом в отраженном свете, что снижает контраст изображения, а вследствие интерференции прямых и отраженных лучей размывает границы максимального смещения излучающей поверхности. Кроме оптического микроскопа требуется привлечение специальной осветительной системы с двумя источниками светового излучения (светоизлучающие диоды высокой яркости с красным и зеленым цветом свечения, хотя человеческий глаз лучше различает предметы при «белом» освеще-

нии) и с блоком питания, состоящим из устройства выделения сигнала синхронизации, синхронизируемого задающего генератора, фазового регулятора, счетного триггера, формирователя стробирующего импульса, элементов «И», и выходных ключей. Известный способ, как видно из перечня необходимого привлекаемого оборудования, является дорогостоящим, весьма трудоемким и сложным в осуществлении всех необходимых операций и требует большого времени для настройки всех блоков и непригоден для проведения экспрессных измерений амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы.

Известен способ измерения амплитуды колебаний (Патент №2292530 RUC1 МПК G01H 9/00 от 2007.01.27.), в рамках которого колеблющееся тело освещают световым потоком, формируемым двумя импульсными источниками излучения с различными длинами волн, таким образом, что колеблющееся тело перекрывает часть светового потока, при этом направление регистрируемых колебаний тела перпендикулярно оптическим осям импульсных источников излучения, синхронизируют момент излучения первого импульсного источника излучения с максимальным отклонением кромки колеблющегося тела в одну сторону, а момент излучения второго импульсного источника излучения – с противоположным максимальным отклонением кромки колеблющегося тела. При этом перекрываемый колеблющимся телом световой поток пропускают через ограничительную диафрагму с отверстием прямоугольной формы, которую располагают таким образом, чтобы направление колебаний тела совпадало с одной из граней ее отверстия, не прикрытую часть светового потока разделяют на два равных световых потока, при этом один из них проходит через светофильтр, пропускающий только излучение, имеющее длину волны излучения первого импульсного источника излучения, а второй проходит через другой светофильтр, пропускающий только излучение, имеющее длину волны излучения второго импульсного источника излучения, после чего каждый световой поток попадает на отдельный преобразователь освещенность-напряжение, причем указанные преобразователи имеют равную чувствительность, но первый – к излучению с длиной волны излучения первого импульсного источника излучения, а второй – к излучению с длиной волны излучения второго импульсного источника излучения, при этом амплитуду колебаний определяют по разности напряжений регистрируемых электрических сигналов.

Однако в известном способе, используют режим работы оптического микроскопа в отраженном свете, что снижает контраст изображения, известный способ является дорогостоящим, весьма трудоемким и сложным в осуществлении всех необходимых операций и требует большого времени для настройки всех блоков и проведения измерений. Известный способ непригоден для проведения экспрессных измерений амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы.

Наиболее близким к заявляемому является более простой способ, основанный на визуальном измерении амплитуды колебаний с помощью оптического микроскопа, снабженного окулярной шкалой или сеткой (Макаров Л.О. Акустические измерения в процессах ультразвуковой технологии. – М. Машиностроение, 1983.; Хмелев В.Н., Абраменко Д.С., Савин И.И. Способ измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы. Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: Межвузовский сборник./ Под редакцией Г.В. Леонова. Алт. ГТУ, БТИ, 2004; <http://u-Sonic.ru>). В основе измерений амплитуды колебаний в известном методе лежит наблюдение за боковой поверхностью стержневой ультразвуковой колебательной системы, (совершающей продольные колебания) через микроскоп, оптическая ось которого перпендикулярна к оси колебательной системы. Наблюдения обычно ведут в отраженном свете, причем в окуляр вставляют шкалу или сетку с известной ценой деления. Заметив на исследуемой поверхности до включения колебаний четко видимую точку или штрих, перпендикулярный оси системы, наблюда-

ют их «размытие». Величина этого размытия соответствует «размаху» колебаний, т. е. удвоенному значению амплитуды. При этом погрешность измерений определяется шириной неподвижного изображения наблюдаемой точки или штриха. Однако, как отмечено в одном из вышеприведенных источников (Хмелев В.Н., Абраменко Д.С., Савин И.И. Способ измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы. Изменения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: Межвузовский сборник./ Под редакцией Г.В. Леонова. Алт. ГТУ, БТИ, 2004; <http://u-Sonic.ru>) основной недостаток известного метода обусловлен особенностью человеческого зрения, заключающейся в том, что если в поле зрения человека находятся объект с четкими границами и объект с нечеткими границами, зрительный центр мозга подсознательно концентрирует внимание на объекте с четкими границами, а положение нечеткого объекта не определяет. В процессе измерения амплитуды, видимые границы ультразвуковой колебательной системы являются нечеткими, а в поле зрения одновременно присутствуют объекты с четкими границами (измерительная шкала, неподвижные элементы ультразвуковой колебательной системы). В связи с этим, для определения положения «размытой» границы приходится сознательно концентрировать на ней внимание, что приводит к повышенному зрительному утомлению и снижению точности измерений. Этот недостаток, обусловленный особенностями человеческого зрения, проявляется потому, что при наблюдении за колебаниями колебательной системы при заранее вставленной в окуляр микрометрической шкале или сетке с известной ценой деления внимание распределяется на четыре позиции: фиксация границы неподвижной части системы, фиксация границы колеблющейся части системы, привязка к микрометрической шкале границы неподвижной части и, наконец, привязка к микрометрической шкале границы колеблющейся части системы. Другим недостатком известного способа является то, что измерения ведут в отраженном свете, что снижает контраст изображения. Одновременное наблюдение за размытием изображения и привязка его границ к заранее вставленной в объектив микроскопа микрометрической шкале в условиях пониженного контраста, неизбежно приводят к усталости глаза, что снижает точность измерений.

Задачей изобретения является разработка простого экспрессного более точного способа измерения амплитуды колебаний стержневой или стержнеподобной ультразвуковой колебательной системы с использованием оптического микроскопа без привлечения каких-либо дополнительных осветительных блоков и электронных устройств.

Это достигается за счет того, что в способе измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы, совершающей продольные колебания, с использованием оптического микроскопа и микрометрической шкалы, включающем установку в микроскопе ультразвуковой колебательной системы так, чтобы вертикальная оптическая ось перекрестия окуляра микроскопа была перпендикулярна к оси системы, измерение колебаний ультразвуковой колебательной системы ведут в проходящем свете, перед установкой и запуском стержневой ультразвуковой колебательной системы на вертикальной оси перекрестия окуляра микроскопа наносят реперную точку, соответствующую величине ожидаемой амплитуды колебаний рабочего элемента колебательной системы, затем устанавливают и закрепляют наконечник стержневой колебательной системы в поле микроскопа вдоль горизонтальной оси перекрестия окуляра микроскопа таким образом, чтобы его конец, образующий черную зону при наблюдении в микроскопе, был расположен в центре поля, затем запускают режим колебаний стержня и наблюдают размах – двойную амплитуду этих колебаний в виде серой зоны с четкими границами, далее смещают стержень параллельно самому себе так, чтобы нижняя точка границы серой и черной зон заняла место в центре перекрестия окуляра, после чего, поворачивая окуляр, совмещают реперную точку с вертикальной границей серой и белой зон, далее удаляют наконечник ультразвуковой колебательной системы из микро-

скопа и вводят микрометрическую шкалу с известной ценой деления вдоль горизонтального направления, устанавливают длинную риску шкалы так, чтобы она проходила через центр перекрестия окуляра и по числу делений микрометрической шкалы определяют расстояние от центра перекрестия до реперной точки и тем самым определяют двойную амплитуду колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы.

Сущность изобретения заключается в следующем. Во первых, измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы ведут в проходящем свете, а не в отраженном свете, как в прототипе и аналогах. Измерения в проходящем свете повышают контрастность изображения и точность измерений. На вертикальной оси перекрестия окуляра наносят реперную точку, соответствующую величине ожидаемой амплитуды колебаний рабочего элемента колебательной системы. Для измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы ее устанавливают так, чтобы в поле зрения микроскопа попадал только конец ее рабочего элемента (наконечника), образующий черную зону в окуляре микроскопа; при этом сама ультразвуковая колебательная система не должна контактировать с элементами конструкции микроскопа. Далее запускают режим колебаний стержня и наблюдают размах этих колебаний в виде серой зоны с четкими границами между черной и серой, а также между серой и белой зонами, затем смещают стержень параллельно самому себе так, чтобы нижняя точка границы серой и черной области заняла место в центре перекрестия (фиг. 1), при этом вертикальная граница между черной и серой и между серой и белой зонами хорошо визуально просматривается, при этом глаз не отвлекается на поиск микрометрической шкалы, как это делалось раньше в прототипе и аналогах, и не устает. Размах колебаний, равный двойной амплитуде, легко и достоверно определяется с помощью реперной точки. Для этого поворачивают окуляр до совмещения основной точки с хорошо просматриваемой вертикальной границей серой и белой зон. Далее удаляют стержневую ультразвуковую колебательную систему из микроскопа и вводят вместо нее микрометрическую шкалу вдоль горизонтальной оси окуляра, настраивая ее так, чтобы длинная риска шкалы проходила через центр перекрестия окуляра и по числу делений шкалы с известной ценой деления определяют расстояние от центра перекрестия до реперной точки и тем самым определяют двойную амплитуду колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы.

Способ иллюстрируется следующими примерами выполнения.

Пример 1. Способ измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы с рабочим элементом в виде цилиндра для аппарата «АК100-ФОТЕК» (предприятия ООО «ФОТЕК»).

Аппарат АК100-ФОТЕК имеет частоту колебаний рабочего элемента ~25 кГц. Для измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы с цилиндрическим наконечником из титанового сплава (параметры даны в таблице 1) использовали микроскоп биологический исследовательский универсальный марки МБИ-15 ЛОМО, 1978 г. В качестве микрометрической шкалы использовали объект-микрометр (окулярный микрометр) для проходящего света типа ОМП У 4.2 (ГОСТ 7513-75) со шкалой, имеющей цену деления 10 мкм.

Для проведения измерений на вертикальную ось перекрестия окуляра микроскопа МБИ-15 наносят реперную точку, соответствующую ожидаемой величине амплитуды колебаний рабочего элемента колебательной системы. Далее в поле зрения микроскопа устанавливают рабочий элемент стержневой ультразвуковой колебательной системы так, чтобы был виден только конец ее рабочего элемента, образующий черную зону в окуляре микроскопа, в котором имеется перекрестие с нанесенной ранее реперной точкой (фиг. 1, а); при этом сама ультразвуковая колебательная система укреплена на специальном держателе и не контактирует с элементами конструкции микроскопа МБИ-15,

предотвращая вибрацию последнего. Далее запускают режим колебаний наконечника колебательной системы и наблюдают размах, то есть двойную амплитуду этих колебаний в виде серой зоны (тени) с четкими границами между черной и серой, а также между серой и белой зонами (фиг. 1, б), затем смещают стержень параллельно самому себе так, чтобы нижняя точка границы между серой и черной зонами заняла место в центре перекрестия (фиг. 1, в), при этом вертикальная граница между черной и серой, а также между серой и белой зонами хорошо просматривается. Амплитуду колебаний определяют с помощью одной из реперной точки. Для этого поворачивают окуляр до пересечения реперной точки с хорошо просматриваемой вертикальной границей между серой и белой зонами (фиг. 1, г), при этом глаз не отвлекается на поиск микрометрической шкалы, как это делалось раньше в прототипе и аналогах, не устает и не снижает точности определения вертикальной границы между серой и белой зонами. Далее удаляют стержневую ультразвуковую колебательную систему из микроскопа (фиг. 1, д) и вводят вместо нее микрометрическую шкалу ОМП У 4.2 с ценой деления 10 мкм, устанавливая и настраивая ее так, чтобы длинная риска шкалы проходила через центр перекрестия окуляра (фиг. 1, е); по числу делений шкалы с известной ценой деления определяют двойную амплитуду колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы. Для наконечника в виде цилиндрического стержня из титанового сплава размах колебаний, равный двойной амплитуде колебаний, составил 100 мкм (Таблица 1).

Пример 2. Способ измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы с рабочим элементом в виде конуса для аппарата АК100-ФОТЕК.

Аппарат АК100-ФОТЕК имеет частоту колебаний рабочего элемента ~25 кГц. Для измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы с конусообразным наконечником из алюминиевого сплава В95 (параметры даны в таблице 1) использовали микроскоп биологический исследовательский универсальный марки МБИ-15 ЛОМО, 1978 г. В качестве микрометрической шкалы использовали объект-микрометр (окулярный микрометр) для проходящего света типа ОМП У 4.2 (ГОСТ 7513-75) со шкалой, имеющей цену деления 10 мкм.

Измерения проведены так же как и в примере 1. Для конусообразного наконечника из алюминиевого сплава В95 размах колебаний, равный двойной амплитуде колебаний, составил 100 мкм (Таблица 1).

Пример 3. Способ измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы аппарата АК100-ФОТЕК с рабочим элементом от аппарата Cusa Excel фирмы Radionics.

Для измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы аппарата АК100-ФОТЕК с конусообразным (полый конус) наконечником из титана от аппарата Cusa Excel фирмы Radionics (параметры даны в таблице 1) использовали микроскоп биологический исследовательский универсальный марки МБИ-15 ЛОМО, 1978 г и аппарат АК100-ФОТЕК. В качестве микрометрической шкалы использовали объект-микрометр (окулярный микрометр) для проходящего света типа ОМП У 4.2 (ГОСТ 7513-75) со шкалой, имеющей цену деления 10 мкм.

Измерения проведены так же как и в примере 1. Для полого конусообразного наконечника из титанового сплава от аппарата Cusa Excel фирмы Radionics размах колебаний наконечника, равный двойной амплитуде колебаний, составил 75 мкм (Таблица 1).

Пример 4. Способ измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы с рабочим элементом в виде полого цилиндра для аппарата АК100-ФОТЕК.

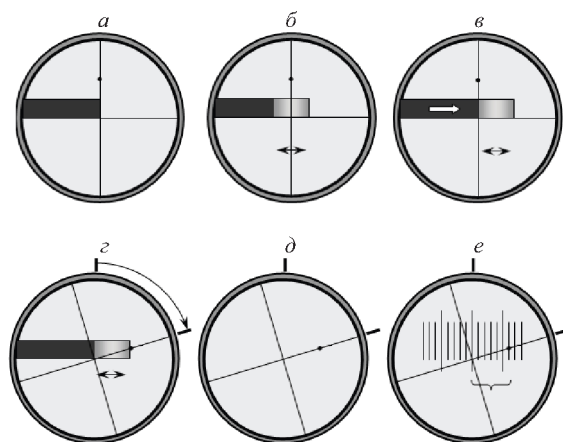
Аппарат АК100-ФОТЕК имеет частоту колебаний рабочего элемента ~ 25 кГц. Для измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы с полым цилиндрическим наконечником из алюминиевого сплава В95 (параметры даны в таблице 1) аппарата «АК100-ФОТЕК» использовали микроскоп биологический исследовательский универсальный марки МБИ-15 ЛОМО, 1978 г. В качестве микрометрической шкалы использовали объект-микрометр (окулярный микрометр) для проходящего света типа ОМП У 4.2 (ГОСТ 7513-75) со шкалой, имеющей цену деления 10 мкм.

Измерения проведены так же как и в примере 1. Для наконечника в виде полого цилиндрического стержня из алюминиевого сплава В95 размах колебаний составил 50 мкм (Таблица 1).

Дополнительным преимуществом предлагаемого способа является возможность его применения для определения амплитуд колебаний рабочих элементов ультразвуковых систем в субмикронном диапазоне, при наличии субмикрометрической шкалы с ценой деления 400 – 600 нм и ниже.

Формула изобретения

Способ измерения амплитуды колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы, совершающей продольные колебания, с использованием оптического микроскопа и микрометрической шкалы, включающий установку в микроскопе ультразвуковой колебательной системы так, чтобы вертикальная оптическая ось перекрестия окуляра микроскопа была перпендикулярна к оси системы, отличающийся тем, что измерение колебаний ультразвуковой колебательной системы ведут в проходящем свете, перед установкой и запуском стержневой ультразвуковой колебательной системы на вертикальной оси перекрестия окуляра микроскопа наносят реперную точку, соответствующую величине ожидаемой амплитуды колебаний рабочего элемента колебательной системы, затем устанавливают и закрепляют наконечник стержневой колебательной системы в поле микроскопа вдоль горизонтальной оси перекрестия окуляра микроскопа таким образом, чтобы его конец, образующий черную зону при наблюдении в микроскопе, был расположен в центре поля, затем запускают режим колебаний стержня и наблюдают размах – двойную амплитуду этих колебаний в виде серой зоны с четкими границами, далее смещают стержень параллельно самому себе так, чтобы нижняя точка границы серой и черной зон заняла место в центре перекрестия окуляра, после чего, поворачивая окуляр, совмещают реперную точку с вертикальной границей серой и белой зон, далее удаляют наконечник ультразвуковой колебательной системы из микроскопа и вводят микрометрическую шкалу с известной ценой деления вдоль горизонтального направления, устанавливают длинную риску шкалы так, чтобы она проходила через центр перекрестия окуляра и по числу делений микрометрической шкалы определяют расстояние от центра перекрестия до реперной точки и тем самым определяют двойную амплитуду колебаний стержневой ультразвуковой колебательной системы.



Фиг. 1

Таблица 1
Результаты измерений амплитуды колебаний для различных рабочих элементов (наконечников) стрелковой ультразвуковой колебательной системы

Наконечник	Материал	Длина без резьбы, мм	Диаметр у основания, мм	Диаметр на конце, мм	Диаметр отверстия, мм	Размах* колебаний наконечника, мкм
Цилиндр	Ti-сплав	58	2,5	2,5	-	100
Конус	Al-сплав	75	4	2,5	-	100
Полый цилиндр	Al-сплав	63	5	5	2	50
Cusa (полый конус)	Ti-сплав	80	4	2,5	2	75

* Размах колебаний равен двойной амплитуде колебаний наконечника.

Патент № 2392642 РФ. Способ увеличения быстродействия спектрометров ионизирующих излучений с полупроводниковыми и другими детекторами без внутреннего усиления / О. В. Игнатъев. Заявл. 20.04.2009, опублик. 20.06.2010. Бюл. № 17.

Реферат

Изобретение относится к области ядерной электроники, точнее к спектрометрам ионизирующих излучений с детекторами без внутреннего усиления, где сильно влияние электронного шума на энергетическое разрешение. Технический результат - на основе времявариантных формирователей создание большого числа формирователей импульсов с укорачиванием неинформативной их части без ухудшения отношения сигнала к шуму. Увеличение быстродействия достигают укорачиванием неинформативной части каждого спектрометрического импульса, а также их суперпозиций, образующихся из-за наложений, инъекцией компенсирующего заряда в конденсатор, составляющий часть спектрометрического формирователя импульсов. Инъекцию осуществляют компенсирующим током, изменяющим направление при пересечении процессом заданного уровня; при этом для достижения быстрого укорачивания и точного приведения укорачиваемого импульса к базовому уровню знакопеременный компенсирующий ток по ходу процесса уменьшают в функции времени таким образом, чтобы на заключительной стадии процесса компенсации вызываемые им изменения напряжения на упомянутом конденсаторе составляли не более $1/10$ от среднеквадратичного значения шума в точке компенсации до ее начала, а продолжительность заключительной стадии компенсации выбирают не меньшей чем $5\sqrt{3} / \Delta f$, где Δf – полоса частот шума в точке компенсации.

Описание изобретения

Настоящее изобретение относится к области ядерной электроники, точнее к аналоговым устройствам тех из спектрометров ионизирующих излучений, где у ионизационного детектора отсутствует внутренне усиление и, следовательно, существенно влияние электронного шума на энергетическое разрешение. Преимущественное применение - спектрометры рентгеновского и γ -излучений низких и средних энергий с полупроводниковыми детекторами и с ионизационными камерами, а также γ -спектрометр со спинтилляционными детекторами с фотодиодным преобразованием света в электрический сигнал/

В состав типичного «классического» полнофункционального спектрометра ионизирующих излучений на базе полупроводникового детектора (ППД) входят (см. фиг. 1) помимо собственно ППД 1 (CANBERRA. Instrument Catalog, Edition 9): зарядочувствительный предусилитель 2 с тем или иным механизмом восстановления исходного напряжения на емкости обратной связи C_f ; линейный спектрометрический усилитель 3, содержащий собственно усилитель, формирователь спектрометрических импульсов одного из типов, стабилизатор базовой линии и инспектор наложений; «быстрый» усилитель 4; инспектор наложений 5; стретчер 6 (обычно входит в состав модуля аналого-цифрового преобразователя) и собственно аналого-цифровой преобразователь 7, допускающий управление (блокировка входа и сброс «запомненного» амплитудного значения спектрометрического импульса) со стороны инспектора наложений; интерфейс и устройство накопления и цифровой обработки спектрометрической информации (в качестве последних в настоящее время наиболее часто используются персональные компьютеры, на фиг. 1 не показаны).

Роль каждого из элементов тракта ППД-спектрометра подробно описана в монографии (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике/ Ю.К.Акимов, О.В.Игнатъев, А.И.Калинин, В.Ф.Кушнирук. М.: Энергоатомиздат, 1989. 344 с.). Зарядо-

чувствительный предусилитель 2 с полевым транзистором на входе служит для преобразования индуцированного излучением в материале ППД заряда в импульс пропорциональной амплитуды. Главное требование - внесение минимума шумов со стороны предусилителя. Важнейшей функцией спектрометрического усилителя 3 помимо усиления сигналов до уровня, обеспечивающего последующее преобразование в цифровой код, является максимизация отношения сигнала к шуму (С/Ш) с помощью спектрометрического формирователя с постоянными либо переменными во времени параметрами (временнoвариантный или времявариантный формирователь). Роль остальных элементов очевидна: быстрый усилитель 4, инспектор наложений 5 и стретчер 6 выполняют функцию обнаружения и режекции наложенных спектрометрических импульсов. На фиг. 2 приведены временные диаграммы в выделенных точках спектрометра. В современных спектрометрах ионизирующих излучений все электронные функциональные узлы после зарядочувствительного предусилителя, включая аналого-цифровой преобразователь, выполняются в виде единого модуля или прибора, который называется процессором спектрометрических импульсов.

В диапазоне рентгеновского и «мягкого» γ -излучений существенный, а часто и основной вклад в энергетическое разрешение, вносят шумы электронного канала. Основную роль в их подавлении играет спектрометрический формирователь, он же ограничивает быстродействие всего спектрометра. Существующая теория фильтрации шумов в спектрометрах ионизирующих излучений (см., например, (Baldinger E., Franzen W. Adv. In electronics and electron physics, 1956, v8, p.255)) позволяет найти оптимальный, согласованный со спектром сигнала и шума формирователь (MaTched Shaper - MSh). Функция памяти спектрометра с таким формирователем, или, что то же самое, весовая функция $W(T)$, получаемая как наблюдаемая в заданный момент времени реакция на δ -импульс по входу, прикладываемый в последовательные моменты времени от $T = -\infty$ вплоть до момента измерения амплитуды данного импульса при $f = T_{meas}$ представляет собой симметричный треугольник с вогнутыми сторонами и бесконечной длительностью. В литературе такую форму называют CUSP-формой. Все реальные спектрометры имеют функцию памяти $W(T)$ конечной длительности и другой формы (треугольная, квазиганссова и многие др), соответственно отношение сигнала к шуму в них всегда хуже, чем могло бы быть с «согласованным» формирователем. То, во сколько раз отношение сигнал/шум на выходе спектрометра с MSH было бы выше, чем с данным типом формирователя, характеризует CUSP-фактор, обозначаемый CF. Для спектрометров с наиболее совершенными формирователями импульсов $C \geq 1,03$, т. е. степень подавления шумов в нем лишь на 3% хуже, чем теоретически возможно. Для спектрометра с простейшим формирователем, состоящим из CR-дифференциатора и RC-интегратора (CR+RC – формирователь) $CF \geq 1,36$, т. е. отличие от теоретического предела составляет 36%. Для спектрометров с временнoвариантным формированием сигналов $W(T)$ жестко связана с формой спектрометрических импульсов. Она представляет собой спектрометрический импульс, задержанный на время T_{meas} и зеркально отраженный относительно вертикальной оси, проведенной через точку $T = T_{meas}$ (фиг. 3) и характеризует тот вес, с которым шумовые δ -импульсы, возникающие в предшествующие моменты измерения амплитуды, вкладываются в максимум измеряемого сигнала. Таким образом, форма спектрометрического импульса на выходе временнoвариантного формирователя целиком и полностью описывает свойства спектрометра в отношении подавления шума и, как понятно, быстродействия.

Упомянутые значения CF достигаются при условии, что временной масштаб формирования выбран в соответствии со спектральной плотностью шума детектора и предусилителя данного спектрометра. Для каждого типа формирователя существует своего строго определенное соотношение между T_{meas} и т.н. константой шума τ_c (τ_c – постоянная времени простого CR-дифференцирующего фильтра, превращающего частотно-

зависимый шум предусилителя в «белый»). При современных полевых транзисторах, используемых в предусилителях, приходится устанавливать пиковое время T_{peak} (или момент измерения амплитуды T_{meas}) сигналов на выходе усилителя в несколько десятков микросекунд. Если учесть, что в коммерческих спектрометрах чаще всего применяются времяинвариантные фильтры, создающие квазигауссову или треугольную импульсную характеристику спектрометра (CANBERRA. Instrument Catalog, Edition 9, 338p., EG and G Ortec. Catalog 1999), то длительность спектрометрических импульсов по основанию составляет $T_w \geq 3T_{\text{peak}}$, что может достигать 100 μs . В спектрометрах с полупроводниковыми детекторами влияние формирователя импульсов на быстродействие двояко. Они ограничивают «быстродействие по входу» и «быстродействие по выходу». Устойчивость спектрометра по отношению к статистической загрузке по входу характеризуют максимально допустимой загрузкой $R_{\text{in_max}}$, при которой сдвиг пиков аппаратного спектра $\Delta E/E$ и уширение пиков $\Delta\eta/\eta$ не превышают заданных значений (обычно $\Delta E/E \leq 0,1-0,2\%$, а $\Delta\eta/\eta \leq 10-15\%$). И та и другая величина в наибольшей степени зависят от качества работы стабилизатора базовой линии спектрометра, которому необходимы свободные промежутки между статистически распределенными во времени сигналами детектора, чтобы оценить отклонение базовой линии от заданного уровня (обычно нуля). Понятно, что вероятность появления свободных интервалов с ростом R_{in} падает. Обычно стабилизаторы базовой линии не вносят существенных погрешностей при факторе занятости $DF = R_{\text{in}} \times T_w \leq (1-1,5)$. Отсюда $R_{\text{in_max}} \leq (1 \div 1,5) \times T_w^{-1}$. При $T_w \geq 3T_{\text{peak}} = 100 \mu\text{s}$ $R_{\text{in_max}}$ всего лишь $(10-15) \times 10^3 1/\text{s}$. Если бы удалось избавиться от неинформативной части спектрометрических импульсов (см. фиг. 3), т.е. добиться того, чтобы $T_w \geq 1 \times T_{\text{peak}}$, то «быстродействие по входу» выросло бы при прочих равных условиях втрое - $R_{\text{in_max}} \leq (30 \div 45) \times 10^3 1/\text{s}$.

Ограничения в «быстродействии по выходу» вытекают из вероятностного процесса наложений спектрометрических импульсов. Зависимость скорости накопления «кочинных» от наложений событий R_0 , от скорости счета R_{in} по входу спектрометра дается выражением (Becker T.H. et al. / Characteristics of high-rate energy Spectrometers with Time-Invariant filters. IEEE Trans. V. NS-28. 1981. №3. P. 598-602):

$$R_0 = R_{\text{in}} / \exp(R_{\text{in}} \times T_{\text{p-u}}) \quad (1)$$

где $T_{\text{p-u}}$ – интервал наложений, при времяинвариантном формировании $T_{\text{p-u}} = T_w$. Максимальная скорость накопления спектра $R_{0 \text{ max}}$ из (1) равна:

$$R_{0 \text{ max}} = 1/e \times T_{\text{p-u}} \quad (2)$$

Для рассмотренного примера при $T_w \geq 3T_{\text{peak}} = 10 \mu\text{s}$ $R_{0 \text{ max}} = 3,7 \times 10^3 1/\text{s}$. Если бы отсутствовала неинформативная часть импульсов, т.е. $T_w \geq 1 \times T_{\text{peak}}$, то $T_{\text{p-u}} = 2 \times T_{\text{peak}} = 2T_w/3$ и $R_{0 \text{ max}} = 5,6 \times 10^3 1/\text{s}$. Попытка увеличить быстродействие спектрометра уменьшением констант формирования приводит к ухудшению энергетического разрешения при малых и средних статистических нагрузках. Такой прием применим далеко не во всех случаях.

Радикальным способом повышения быстродействия полупроводниковых α - и γ спектрометров является применение тех из времявариантных спектрометрических формирователей, которые при заданном T_{peak} (или T_{meas}) обеспечивали бы требуемое значение CUSP-фактора и минимально возможную длительность импульсов по основанию.

Одним из наиболее совершенных времявариантных формирователей является формирователь со структурой $[(CR)_{\text{dj}} + \text{SW} + \text{GI}]$, показанный на фиг 4 (O.V.Ignatyev, A.D.Pulin. Comparative study of perspective TIME-variant Spectrometry Shapers. Твердотельные детекторы ионизирующих излучений: Труды симпозиума ТТД-97 / Под ред.

В.С.Кортова и др.. Екатеринбург: УГТУ, 1998, с.175 – 182). Формирователь содержит CR-дифференциатор 8 (с компенсацией полюса нулем, если в предусилителе есть резистор обратной связи), нормально разомкнутый электронный ключ 9 (в иностранной литературе обозначают как SW), буферный каскад 10 (этот элемент не принципиален), стробируемый «идеальный» интегратор 11 (обозначают GI) и устройство управления электронным ключом 12. Электронный ключ служит цели уменьшения в m - раз постоянной времени дифференцирования за счет шунтирования резистора CR – дифференциатора.

На фиг. 5 приведены временные диаграммы в выделенных точках, поясняющие принцип действия формирователя, а также функция памяти спектрометра $W(T)$. Здесь длительность по основанию (поз. V_c) почти равна времени достижения максимума благодаря тому, что после завершения интегрирования части экспоненциального входного импульса остаточная часть экспоненты быстро укорачивается с помощью электронного ключа 9. Более того, если на входе формирователя образуется групповой импульс из нескольких близко расположенных сигналов блока детектирования (собственно детектор и предусилитель), то замыканием электронного ключа его длительность можно свести к минимуму (стробируемый интегратор 11 в этом случае не запускается).

В работах (Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю.К.Акимов, О.В.Игнатьев, А.И.Калинин, В.Ф.Кушнirik. М.: Энергоатомиздат, 1989. 344 с., О.В.Ignatyev, A.D.Pulin. Comparative study of perspective Time-variant Spectrometry Shapers. Твердотельные детекторы ионизирующих излучений: Труды симпозиума ТТД-97 / Под ред. В.С.Кортова и др. Екатеринбург: УГТУ, 1998. С.175 – 182.) показано, что все спектрометрические времявариантные формирователи, обладающие свойством укорачивать групповые импульсы, обусловленные наложениями, одновременно обладают и свойством создавать так называемый нестационарный, зависящий от скорости счета шум (в иностранной литературе «count-rate dehended noise»). Природа этого шума достаточно очевидна. Укорачивание группового импульса возможно, если при его возникновении уменьшаются на время его действия постоянные времени CR-дифференциатора и/или RC-интегратора, входящих в состав формирователя спектрометрических импульсов. Это означает, что на время малых значений констант формирования ухудшается фильтрация высокочастотных составляющих шума. В момент возврата констант к номинальному значению на элементах памяти формирователя (конденсаторах дифференциатора и/или интегратора) запоминается мгновенное значение ВЧ-шума, которое затем случайным образом суммируется со следующим за групповым нормальным спектрометрическим импульсом. Естественно, это увеличивает погрешность измерения его амплитуды, несущей информацию об энергии соответствующего кванта, зарегистрированного детектором.

Возникновение нестационарного шума приводит к необходимости введения после окончания каждого укорачивания определенного «защитного» времени (в иностранной литературе - «protection time») T_{pr} для уменьшения запомненной шумовой составляющей. Если следующий спектрометрический импульс возникает на интервале «защитного» времени, то он также подвергается укорачиванию, а его амплитуда не измеряется. Фиг. 5 и данные табл. 1 иллюстрируют описанную ситуацию (О.В.Ignatyev, A.D.Pulin. Comparative study of perspective Time-variant Spectrometry Shapers. Твердотельные детекторы ионизирующих излучений: Труды симпозиума ТТД-97 / Под ред. В.С.Кортова и др. Екатеринбург: УГТУ, 1998. С.175 – 182.).

Из анализа таблицы следует, что преимущества от укорачивания спектрометрических импульсов с помощью электронного ключа SW нивелируются необходимостью введения достаточно большого защитного времени, иначе в спектрометре падает отношение сигнала к шуму и соответственно его разрешающая способность. Это характерно и для других спектрометров с подобными спектрометрическими формирователями (По-

Таблица 1

Зависимость параметров спектрометра с формирователем типа $[(CR+SW)_{df}+GI]$ от «защитного» интервала. $T_{peak} = \tau_{df}$; $\tau_r = 1/6,9T_{peak}$; $T_r = 6,9\tau_r = T_{peak}$

	$T_{pr} = \infty$ (одиночный импульс)	$T_{pr} = 2T_{peak}$	$T_{pr} = 1 T_{peak}$	$T_{pr} = 0$
CF	1,098	1,171	1,581	3,281
T_{p-u}	$7,9T_{peak} = 10,35\tau_c$	$5 T_{peak} = 6,55\tau_c$	$4T_{peak} = 5,24\tau_c$	$3T_{peak} = 3,93\tau_c$

где T_{pr} – «защитное» время; τ_c – константа шума (постоянная «белящего» фильтра); CF – Cusp-Factor, коэффициент, показывающий во сколько раз отношение сигнала к шуму на выходе данного формирователя ниже, чем теоретически достижимое; T_{p-u} – интервал наложений.

Таким образом, способ увеличения быстродействия спектрометров с детекторами без внутреннего усиления? заключающийся в применении формирователей спектрометрических импульсов с коммутацией постоянных времени, оказывается мало эффективным из-за возникновения нестационарного, зависящего от скорости счета, шума.

Существует еще один способ увеличения быстродействия, в равной мере применимый как к спектрометрам с времявариантной фильтрацией сигналов, так и с времявариантными формирователями. Этот способ может быть назван «способом линейной, или аналоговой компенсации». Пример одной из возможных реализаций способа показан на фиг. 6 (Blatt S.L., Mahieux J., Kohler D. Elimination of pileup distortion In nuclear radiation Spectra. Nucl. Instrum. And Meth., v.60 1968 p.221–230; Н.Ф.Школа, О.В.Игнатьев, Б.С.Новисов и др. Спектрометрический усилитель // Авт. свид. 2827826 СССР, зарег. в Госреестре изобретений 08 октября 1980 г.). В данном случае в состав компенсатора входят CR-дифференциатор 13, линейный усилитель 14, аналоговая задержка 15, времявариантный формирователь компенсирующих импульсов, линейный сумматор 17 и основной спектрометрический формирователь 18 (любого типа).

В основе способа лежит тот факт, что в спектрометре, на входе формирователя импульсов можно выделить или создать спектрометрические импульсы экспоненциальной формы, из которых позже формируются импульсы необходимой формы, поступающие на аналого-цифровой преобразователь. Такие экспоненциальные импульсы легко могут быть воспроизведены в виде компенсирующих импульсов. Алгоритм компенсации таков: 1) задержка всего потока экспоненциальных импульсов на время T_{del} ; 2) обнаружение факта появления на заданном интервале времени T_{p-u} еще одного экспоненциального импульса; 3) формирование в течение времени задержки компенсирующего импульса-сателлита с той же амплитудой, что у импульса, подлежащего компенсации; 4) собственно компенсация экспоненциальных импульсов и обработка разностного сигнала основным спектрометрическим формирователем. Соответствующие временные диаграммы показаны на фиг. 7.

Принципиальный недостаток устройств, основанных на этом способе, заключается в невозможности точной компенсации неинформативной части спектрометрических импульсов и обусловлен тем, что компенсирующий сигнал всегда содержит случайную (шумовую) составляющую. Уровень шума в компенсирующем канале, из-за заведомо неоптимального масштаба формирования, априори весьма высок. Следствием этого вновь является возникновение нестационарного шума с уровнем, зависящим от времени между подвергнутым компенсации импульсом и последующим.

Существует еще один способ увеличения быстродействия (прототип), применяемый в спектрометрах с т.н. харуэльским импульсным процессором (Harwell pulse processors) (K.Kandiah et al. A Pulse Processor for X-Ray Spectrometry with Si(Li)-Detectors. - IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1975, v.NS-22, №5, p.2058–2065; K.Kandiah, G.White. status at Harwell of Opto-Electronic and Time-Variant Signal Processing for High Performance Nuclear Spectrometry with Semicoductor Detectors. - IEEE Trans., 1981, v.NS-28, №1, p.613-620; G.Wh/Te. Pulse Processing for Gamma Ray Spectrometry. A Novel Method and its implementation. - IEEE Trans., 1988, v.NS-35, №1, p.125 – 130). Принцип действия спектрометров, использующих способ безшумового укорачивания импульсов (в предусилителе), проиллюстрирован в упрощенном виде на фиг. 8 и 9.

Выход безрезистивного блока детектирования 19 с оптической обратной связью соединен со входом импульсного процессора, содержащего в своем составе линейный усилитель 20, аналоговую линию задержки 21, времявариантный RC-интегратор (параллельно включенные интегрирующий резистор 22 и нормально разомкнутый электронный ключ 23 с внутренним сопротивлением, в m раз меньшим, чем сопротивление резистора 22, а также интегрирующая емкость 24), буферный усилитель 25, времявариантный CR-дифференциатор (дифференцирующая емкость 26 и нормальнозамкнутый электронный ключ 27 с внутренним сопротивлением, равным нулю) и стробируемый «идеальный» интегратор 28. Контроллер 29 в данном случае выполняет функции обнаружения импульсов, анализа временных интервалов между импульсами и общее управление спектрометром.

Блок детектирования спектрометра с харуэльским процессором отличается от обычных блоков детектирования с оптическим восстановлением (Landis D.A, Goulding F.S., Pehl R.S. et al. Pulsed feedback Techniques for Semiconductor detector radiation Spectrometers. IEEE Trans. NS-18, 1971, №1, p.115 – 123), ставших классическими, только логикой работы. Любой безрезистивный зарядочувствительный предусилитель по сути есть прецизионный интегратор. Его реакция на короткий импульс тока полупроводникового детектора при регистрации γ -кванта - степень напряжения (см. диаграмму V_a на фиг. 5) с амплитудой пропорциональной энергии поглощенного γ -кванта. Ясно, что процесс суммирования ступеней напряжения не может быть бесконечным. Если в обычных оптоэлектронных блоках детектирования излучения разряд, или компенсация накопленного на емкости обратной связи предусилителя индуцированного квантами излучения заряда происходит после достижения процессом заданного уровня, то в спектрометрах с харуэльскими процессорами, процедура компенсации предусмотрена для каждого импульса от зарегистрированного детектором кванта излучения. Соответствующие временные диаграммы приведены для отмеченных точек упрощенной структуры спектрометра на фиг. 9.

С возникновением очередной «ступени» напряжения на выходе безрезистивного зарядо-чувствительного предусилителя (диаграмма V_a) через время задержки T_{Di} , необходимое для обнаружения этого импульса, в процессоре начинается времявариантное формирование сигнала: размыкается нормально замкнутый электронный ключ 27 (диаграмма V_f), одновременно стробируемый интегратор 28 переходит из режима усилителя с нулевым коэффициентом передачи в режим «идеального» интегрирования. Постоянная времени дифференциатора τ_{GD} скачком переходит из состояния $\tau_{GD} = 0$ в $\tau_{GD} = \infty$. Благодаря этому на емкости 26 стробируемого дифференциатора запоминается мгновенное значение напряжения (постоянного уровня и шума) в момент коммутации ключа. Из суперпозиции RC-интегрируемых ступени напряжения, шума и постоянного уровня, с которого началась «ступень» (диаграмма V_c), вычитается запомненное емкости 26 дифференциатора напряжение. На вход стробируемого идеального интегратора 28 поступает RC -интегрированный сигнал уже «привязанный» к нулю (диаграмма V_e), а не к постоянному уровню. Естественно, что мгновенное значение шума, запомненное на емкости

26 в момент размыкания ключа 27, также вычитается из RC-интегрируемой ступени на всем протяжении времени формирования t_{sh} . В зависимости от полярности запомненного значения шума происходит либо увеличение, либо уменьшение относительно истинной величины RC-проинтегрированной «ступени».

Незадолго до истечения времени формирования t_{sh} (за время, равное времени задержки T_{DI} элемента 21) контроллер 29 генерирует разрядный импульс фиксированной амплитуды (диаграмма V_b), который поступает в блок детектирования 19 на светодиод (LED), находящийся в оптическом контакте с р-п-переходом полевого транзистора (его обозначают JFET) зарядочувствительного предусилителя. Под действием света генерируется ток затвора и происходит разряд емкости обратной связи C_f предусилителя. На выходе блока детектирования происходит быстрое укорачивание неинформативной части ступенчатого импульса. Разрядный импульс, поступающий на светодиод (и разрядный ток затвора полевого транзистора, соответственно), прерывается, когда контроллер 29 фиксирует пересечение нуля процессом на выходе линейного усилителя 20 (фактически на выходе блока детектирования). Поскольку предусилитель во время восстановления остается в активном и линейном режиме, то наличие шумовых импульсов приводит к тому, что останов происходит не точно при $V_a = 0$, а вблизи нуля, в зоне $\pm V_{noise_max}$, где V_{noise_max} – максимальное значение шума на выходе линейного усилителя 20. Таким образом, базовый уровень на выходе линейного усилителя 20 флуктуирует от импульса к импульсу.

По прошествии времени $\Delta T = T_{sh}$ с момента возникновения импульса на входе время-вариантного формирователя начинается укорачивание неинформативной части сформированного спектрометрического импульса. Для этого одновременно замыкаются электронные ключи 23 и 27, а стробируемый идеальный интегратор 28 возвращается в исходное состояние (усилителя с нулевым усилением). При этом ключ 27 и стробируемый интегратор 28 остаются в этом состоянии до появления следующего спектрометрического импульса, электронный ключ 23 остается замкнутым лишь на время, достаточное для того, чтобы интегрирующая емкость 24 с уменьшенной почти в m -раз постоянной времени разрядилась до среднего значения базовой линии на входе RC-интегратора. Фильтрация высокочастотного шума в течение времени, пока ключ 23 замкнут, ухудшена (диаграмма V_c).

Таким образом, спектрометре с харуэльским процессором применены два способа укорачивания неинформативной части спектрометрических импульсов.

Первый способ, состоящий в инжекции компенсирующего тока на вход блока детектирования, не оказывает никакого влияния на вид функции памяти спектрометра $W(T)$, т.к. передаточная функция по отношению к шумовым импульсам ни коим образом не изменяется во время компенсации заряда на C_f . Напряжение на выходе блока детектирования в это время представляет сумму линейно падающего напряжения, вызванного интегрированием компенсирующего тока и стационарного электронного шума. Недостаток столь простого алгоритма укорачивания – принципиальная невозможность остановить процесс компенсации в момент времени, когда сумма укорачиваемого сигнала и среднего значения шума равна нулю. В этом способе укорачивания просто отсутствует механизм нахождения среднего значения шума. Следствие этого, как отмечалось, – флуктуирующее от импульса к импульсу среднее значение базовой линии (диаграммы V_a и V_c).

Второй время-вариантный способ укорачивания, когда это значение достигается коммутацией (или изменением) констант формирования, приводит укорачиваемый импульс к нулевому значению (диаграмма V_c), но ценой возникновения нестационарного шума. Механизм его возникновения состоит в следующем. В момент размыкания ключа 23 (возврат к исходному значению постоянной RC-интегрирования) на интегрирующей емкости 24 может быть любое из возможных значений высокочастотного шума. Оно, это

мгновенное значение слабо интегрированного шума, запоминается на емкости 24 и затем, уже с исходной постоянной времени RC-интегратора, стремится к среднему значению процесса на его входе. Если между окончанием укорачивания предыдущего импульса и возникновением данного прошел малый промежуток времени, то на входе буферного усилителя 25 не успевает установиться стационарное (среднее) значение процесса. При размыкании нормально замкнутого ключа 27 стробируемого дифференциатора на его емкости 26 запомнится не только постоянное напряжение, соответствующее базовой линии, но и не успевшее достичь значения базовой линии шумовое напряжение. Этот эффект находит свое отражение в искажении оптимизированной для одиночных сигналов формы весовой функции спектрометра $W(T)$ (отмечено пунктиром на диаграмме «Весовая функция $W(T)$ »). Для того чтобы при повышенных статистических нагрузках фильтрация сигналов не ухудшалась слишком сильно, логика работы спектрометра предусматривает введение защитного времени T_{pr} (диаграммы V_g и «Весовая функция $W(T)$ »). Если импульс возник на этом интервале, то запускаются оба алгоритма укорочения, а амплитуда этого импульса не измеряется.

В итоге быстрое, не влияющее на отношение сигнала к шуму, но неточное укорачивание импульсов в блоке детектирования требует последующего специфического времени – вариантного формирования, привносящего нестационарный шум и значительное увеличение времени, требующегося для обработки одного события.

Идея укорачивания неинформативной части спектрометрических импульсов инжекцией тока, компенсирующего накопленный в предшествующем периоде на время задающем элементе заряд, весьма продуктивна, но требует разрешения ряда противоречий и проблем.

1. Время, в течение которого должна быть осуществлена компенсация неинформативной части импульса, должно быть минимальным по отношению к заданному условиям оптимизации отношения сигнала к шуму длительности информативной части импульса. При заданных величинах время задающей емкости C_{sh} и максимального заряда, подлежащего компенсации (или напряжения, обусловленного этим зарядом), сделать компенсацию быстрой можно только выбрав значительную величину разрядного, или компенсирующего тока I_c :

$$T_{DCh} = V_{sh} C_{sh} / I_c, \quad (3)$$

где T_{DCh} – время разряда емкости формирователя; V_{sh} – напряжение, подлежащее компенсации.

Даже в модельной ситуации, когда шум отсутствует, невозможно точно до нуля (или любого иного заданного напряжения) разрядить емкость формирователя постоянным током, поскольку сигнализирующий о достижении процессом нуля импульс любого компаратора, определяющего факт достижения процессом на его входе заданного уровня, сам по себе возникнет с некоторой задержкой из-за конечного быстродействия этого компаратора и последующих электронных схем. Величина перерегулирования равна:

$$V_{ovcl} = I_c \times T_{de} / C_{sh}, \quad (4)$$

где T_{de} – величина задержки по цепи компенсации.

Для применяемых в спектрометрах компараторов эта задержка составляет 3–5 нс. Если же крутизна сигнала на входе компаратора невелика, то начинает сказываться зарядочувствительность компаратора. Наличие усилительных секций между разряжаемой емкостью и нуль-компаратором, а также коммутируемого генератора тока, только увеличивает задержку отключения разрядного тока. Типичная величина задержки составляет 25–30 нс.

Численный пример 1. Пусть мы хотим укоротить импульс на емкости 24 (фиг. 8) без применения электронного ключа 23 инъекцией компенсирующего тока, как это делается в блоке детектирования 19 (с помощью коммутируемого генератора тока). Пусть при этом $C_{sh} = 1 \text{ nF}$, $t_{sh} = 20 \text{ }\mu\text{s}$, максимальная амплитуда в спектре $V_{sh_max} = 2,5 \text{ V}$, диапазон амплитуд $D = 100:1$, т. е. $V_{sh_min} = 25 \text{ mV}$, время задержки в цепи управления компенсацией $T_{de} = 25 \text{ ns}$, а время компенсации $T_{DCh} = 0,1 \times t_{sh} = 2 \text{ }\mu\text{s}$.

Из формулы (3) получаем $I_c = 1,25 \text{ mA}$. Подставив этот результат в формулу (4), находим, что перерегулирование составляет $V_{ovel} = 31,25 \text{ mV}$, а это больше, чем минимальная амплитуда, которая должна быть зарегистрирована. Импульсы всех амплитуд будут иметь выброс противоположной полярности, спадающий к значению базовой линии на входе с постоянной времени $20 \text{ }\mu\text{s}$, вместо избавления от неинформативной части спектрометрических импульсов происходит ее увеличение.

2. Очевидно, что для достижения малого времени компенсации заряда и пренебрежимо малого перерегулирования компенсирующий ток должен на конечной стадии компенсации уменьшить свою величину. Казалось бы можно порог компаратора можно заранее установить большим того уровня, до которого должна быть компенсация, на величину перерегулирования V_{ovel} . Сигнал на отключение генератора компенсирующего тока пойдет с упреждением и процесс компенсации остановится точно в момент достижения заданного уровня. Но такой прием мало пригоден из-за того, что в спектрометрах с полупроводниковыми детекторами всегда присутствует относительно большой шум.

Численный пример 2. Пусть сохраняются все условия предыдущего примера. Дополнительные условия таковы: максимальная амплитуда $V_{sh_max} = 2,5 \text{ V}$, соответствует энергии γ -квантов $5,9 \text{ keV}$, а уровень шума в спектрометре таков, энергетическое разрешение по линии генератора (ширина пика генератора на половине высоты в спектре энергий) составляет $\eta_{gen} = 100 \text{ eV}$. Легко показать, что максимальные выбросы шума V_{noise_max} (в единицах энергии) составляют $\approx \pm 1,5 \eta_{gen} = \pm 150 \text{ eV}$. В единицах напряжения это составит $\pm (2,5 \text{ V}/5900) \times 150 \approx \pm 63,5 \text{ mV}$, т. е. амплитуды шумовых импульсов вдвое превышают предустановленный порог и процесс компенсации будет останавливаться внутри этой зоны, а не по достижении базовой линии.

3. Как добиться того, чтобы процесс компенсации накопленного на времязадающем элементе спектрометра заряда от информативной части спектрометрического импульса шел не до достижения процессом случайного из-за присутствия шумов уровня, а до среднего значения заданного уровня? Это самая главная проблема. При решении этой проблемы нужно иметь в виду, что среднее значение нормального гауссова шума имеет нулевое значение.

Задачей изобретения является создание способа увеличения быстродействия спектрометров ионизирующих излучений с ионизационными детекторами без внутреннего усиления, основанного на укорачивании неинформативной части спектрометрических импульсов, включая образованную наложениями других импульсов, путем инъекции в конденсатор, составляющий часть спектрометрического формирователя, компенсирующего заряда таким образом, чтобы в процессе инъекции упомянутого заряда не изменялась передаточная функция спектрометра по отношению в шумовым импульсам, а среднее значение аддитивной смеси сигнала и шума к концу компенсации равнялось заданному уровню.

Указанная задача решается тем, что инъекцию компенсирующего заряда в конденсатор, составляющий часть спектрометрического формирователя, осуществляют компенсирующим током, изменяющим направление при каждом пересечении заданного уровня процессом, представляющим собой аддитивную смесь спектрометрического импульса, шума и компенсирующего заряда, при этом для достижения быстрого укорачи-

вания и точного приведения укорачиваемого импульса к заданному уровню знакопеременный компенсирующий ток по ходу процесса уменьшают в функции времени таким образом, чтобы на заключительной стадии процесса компенсации вызываемые этим током изменения напряжения на упомянутом конденсаторе составляли не более 1/10 от среднеквадратичного значения шума в точке компенсации до ее начала, а продолжительность заключительной стадии компенсации выбирают не меньшей, чем 10 средних длительностей шумовых импульсов.

Последующие соотношения наряду с формулами (3) и (4) позволяют определить требуемые параметры процесса компенсации.

Частота R_{noise} пересечения шумом со среднеквадратичным значением $\sqrt{V_{noise}^2}$, заданного уровня V_{th} дается формулой (Бунимович В.И. Флуктуационные процессы в радиоприемных устройствах. - М. 1951; Мелешко Е.А., Митин А.А. Измерительные генераторы в ядерной электронике. М.: Атомиздат, 1981 г., 256 с.):

$$R_{noise} = \frac{\Delta f}{\sqrt{3}} \exp\left(-V_{th}^2 / 2V_{noise}^2\right), \quad (5)$$

где Δf – полоса частот шума в точке компенсации.

Для однополосной частотной характеристики полоса частот шума на ее выходе связана с величиной полюса соотношением (Проектирование и применение операционных усилителей. Под ред. Дж. Грэма, Дж. Тоби, Л. Хьюлсмана. М.: Мир, 1974, 510 с.):

При многополосной характеристике с равными полюсами можно с достаточной высокой степенью точности считать, что

$$\Delta f = f_p = 1 / 2\pi RC \quad (7)$$

При нулевом пороге из (5) имеем:

$$R_{noise_max} = \Delta f / \sqrt{3} \quad (8)$$

Основываясь на том, что среднее значение стационарного гауссова шумового процесса равно нулю, можно определить среднюю длительность T_{W_noise} шумовых импульсов (длительность превышения нулевого порога). Очевидно, что

Таким образом, точная и быстрая компенсация неинформативной части спектрометрических импульсов без ухудшения отношения сигнала к шуму, получаемого с исходным формирователем импульсов, может быть достигнута при выполнении следующих условий (независимо от схемной реализации устройства, реализующего компенсацию - следящего компенсатора):

1) Компенсация заряда, накопленного на времязадающей емкости формирователя под действием информативной части спектрического импульса, должна происходить биполярным током в течение двух фаз - «быстрой» и «точной».

2) Время задержки по петле регулирования T_{de} должно быть минимально возможным для минимизации ошибок и регулирования V_{ovcl} .

3) В течение «быстрой» фазы должна происходить компенсация значительным током основной части накопленного на конденсаторе под действием спектрометрического импульса заряда до достижения процессом, предствляющим собой аддитивную смесь сигнала и шума, заданного уровня с точностью до перерегулирования $\pm V_{ovcl}$.

4) В течение «точной, более длительной, чем «быстрая» фазы биполярный разрядный ток уменьшается до такой степени, чтобы в конце ее, при данном времени за-

держки по петле регулирования, за одну среднюю длительность шумового импульса T_{W_noise} (см. формулу 9) амплитуда реакция была на него не более $\sqrt{V_{noise}^2}$.

5) Продолжительность «точной» фазы ts_i должна быть не менее 10 средних длительностей шумовых импульсов $(T_{ti} \geq 10T_{W_noise} = 5\sqrt{3}/\Delta f)$, чтобы за время ее с высокой точностью напряжение на конденсаторе формирователя импульсов достигло среднего значения шумового процесса, т. е. заданного уровня, например нуля.

Реализации способа показаны на фиг. 10¹¹, где приведены два варианта формирователей, реализующих способ «бесшумового» укорачивания спектрометрических импульсов.

На фиг. 10 показан подвергшийся изменениям фрагмент спектрометра с харуэльским процессором, а на фиг. 11 приведены диаграммы сигналов в выделенных точках. Изменения коснулись следующего (см. фиг. 8 и 10): ко входу и выходу RC-интегратора, содержащего резистор 31 и емкость 32 теперь подключены входы стробируемого компаратора 30; вместо электронного ключа, уменьшавшего постоянную времени RC-интегратора, введена пара нормально разомкнутых электронных ключей 33 и 34, предназначенных для подключения к выходу RC-интегратора управляемых генераторов положительного 35 и отрицательного 36 токов. Управление ключами 33 и 34 осуществляется положительными сигналами с прямого и инверсного выходов стробируемого компаратора 30, который функционирует только при наличии положительного управляющего сигнала от контроллера 40 на входе стробирования. Буферный усилитель 37, стробируемый дифференциатор, состоящий из емкости 38 и нормально замкнутого электронного ключа 39 с нулевым сопротивлением, выполняют прежние функции. Контроллер 40 дополнительно выдает аналоговый экспоненциальный импульс (диаграмма V_f) для синхронного изменения тока генераторов тока 35, 36. Элементы 30, 33-36 вместе с контроллером 40 выполняют функцию следящего компенсатора.

На стадии укорачивания неинформативной части спектрометрических импульсов контроллером 40 выдается сигнал стробирования для компаратора 30 (диаграмма V_c) и компаратор начинает сравнивать импульсные напряжения на своих входах, замыкая положительными импульсами электронные ключи 33, 34 (диаграммы V_d , V_e), которые поочередно подключают генераторы разнонаправленных токов 35, 36.

Если выполнены обозначенные выше условия относительно скорости и величины реакции следящего компенсатора на изменение отклонения процесса от заданного значения на конечной стадии компенсации, то этим обеспечивается неизменность передаточной функции спектрометрического формирователя для шумовых сигналов на всех стадиях формирования импульсов при одновременном укорачивании спектрометрических импульсов. Этот факт отражается в том, что весовая функция спектрометра $W(T)$, являющаяся по сути функцией памяти, остается неизменной вне зависимости от того, какое время прошло между окончанием предыдущего импульса и данного.

Другая реализация способа показана на фиг. 12. Это упрощенная структура реализованного на практике процессора спектрометрических импульсов. Импульсы от блока детектирования с Si PIN-детектором и с импульсным восстановлением (т. е. не на каждый акт регистрации γ -кванта) сильно укорачиваются в линейном усилителе 41 и поступают на вход формирователя импульсов типа $[(CR)_{eff} + GI]$, т. е. с той же структурой, что и на фиг. 4. На изодромном интеграторе (операционный усилитель 42, емкость 43 и резисторы 44, 45) происходит увеличение постоянной спада экспоненциального импульса до необходимой величины (фиг. 13, осциллограмма V_a), определяемой свойствами блока детектирования. Стробируемый идеальный интегратор 50 работает в течение всего времени формирования.

По окончании времени формирования (в данном случае $t_{sh} = 16 \mu s$) по команде контроллера 51 начинается бесшумовое укорачивание экспоненциального импульса на выходе изодромного интегратора: стробируемый компаратор 46 по команде контроллера переходит в активный режим и, как в предыдущей схеме на фиг. 10, поочередно замыкает электронные ключи 47 и 48, на аналоговые входы которых от контроллера поступает в течение всего времени компенсации импульс напряжения в виде ограниченной сверху экспоненты. Роль двух управляемых генераторов тока выполняют дифференциальный усилитель 49, имеющий коэффициент передачи ± 1 (полярность в зависимости от используемого входа) и резистор 45 на инвертирующем входе изодромного интегратора. Форма компенсирующего тока полностью совпадает с формой компенсирующего напряжения, показанной на осциллограмме V_b . Выходной импульс формирователя показан на осциллограмме V_c .

Технический результат применения заявляемого способа увеличения быстродействия спектрометров ионизирующих излучений с ионизационными детекторами без внутреннего усиления состоит в том, что появляется возможность на основе имеющихся времявариантных формирователей создания большого числа формирователей импульсов с укорачиванием неинформативной их части без ухудшения отношения сигнала к шуму, как в исходных, и увеличения на этой основе быстродействия спектрометров в целом. Созданный спектрометр с формирователем $[(CR)_{dr}+GI]$, реализующий заявляемый способ, при времени формирования $t_{sh} = T_{peak} = 16 \mu s$ показал следующие характеристики:

- при изменении статистической загрузки по входу R_{in} с 10^3 до 32×10^3 1/s энергетическое разрешение по линии 5,9 keV ухудшилось с 166 до 175 eV. Это совпало со значениями, полученными в тех же условиях (с тем же блоком детектирования и при равных T_{peak} с образцовым спектрометром, имеющим квазитреугольный формирователь импульсов;
- скорость счета по выходу в спектрометре с компенсатором оказалась в 1,5 раза выше, чем в образцовом – $5,89 \times 10^3$ 1/s против $4,2 \times 10^3$ 1/s.

Осциллограмма, приведенная на фиг. 13 относится к спектрометру, чьи характеристики приведены выше. «Точная» фаза компенсации в данном случае занимает приблизительно 20% от времени формирования t_{sh} .

Перечень фигур графических изображений

Фиг. 1. Структура типового спектрометра ионизирующих излучений.

Фиг. 2. Диаграммы напряжений в выделенных точках на фиг. 1.

Фиг. 3. Взаимосвязь между импульсной характеристикой (формой импульса) и весовой функцией спектрометра с времяинвариантным формированием сигналов.

Фиг. 4. Времявариантный формирователь $[(CR)_{dr}+Sw+GI]$ с изменяемой электронным ключом Sw постоянной времени дифференцирования и стробируемым «идеальным» интегратором GI .

Фиг. 5. Диаграммы напряжений в выделенных точках на фиг. 4.

Фиг. 6. Обобщенная структура формирователя спектрометрических импульсов с аналоговой компенсацией наложений.

Фиг. 7. Диаграммы напряжений в выделенных точках на фиг. 6.

Фиг. 8. Спектрометр с «бесшумовым» укорачиванием сигналов в зарядочувствительном предусилителе и с времявариантным формирователем импульсов в импульсном процессоре (K.Kandiah et al. A Pulse Processor for X-Ray Spectrometry with Si(Li)-Detectors. - IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1975, V.NS-22, №5, P.2058–2065).

Фиг. 9. Диаграммы напряжений в выделенных точках на фиг. 8 и форма весовой функции спектрометра.

Фиг. 10. Возможная реализация способа «бесшумовой» компенсации неинформативной части спектрометрических импульсов на примере формирователя харуэльского

процессора (K.Kandiah et al. A Pulse Processor for X-Ray Spectrometry with Si(Li)-Detectors. - IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1975, V.NS-22, №5, P.2058–2065).

Фиг. 11. Диаграммы напряжений в выделенных точках на фиг. 10 и форма весовой функции спектрометра.

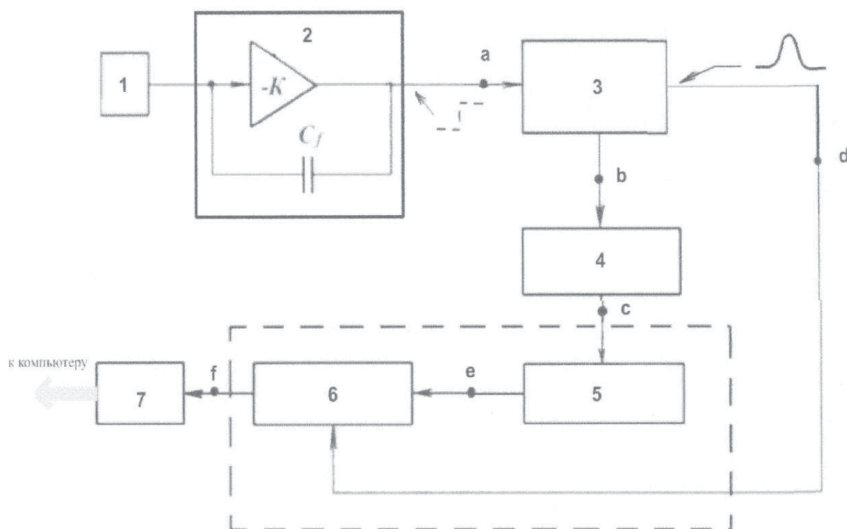
Фиг. 12. Упрощенная структура реализованного формирователя импульсов с бесшумным укорачиванием сигналов.

Фиг. 13. Осциллограммы напряжений в выделенных точках на фиг. 12.

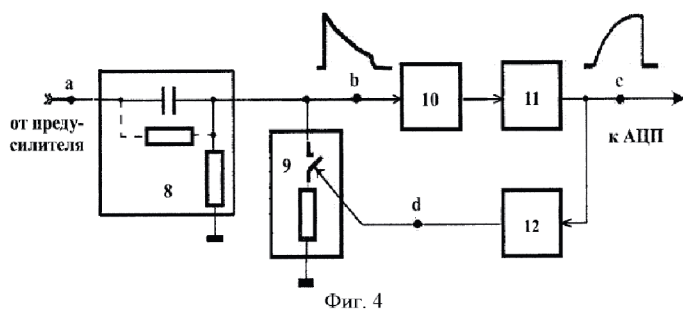
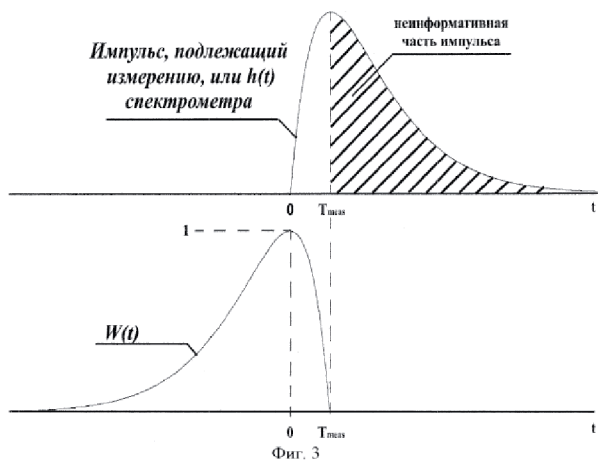
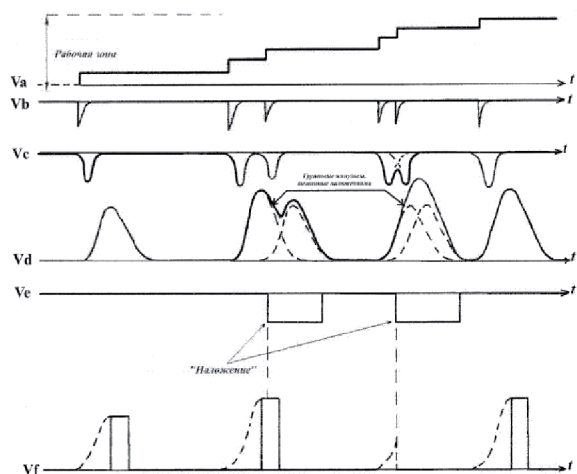
Формула изобретения

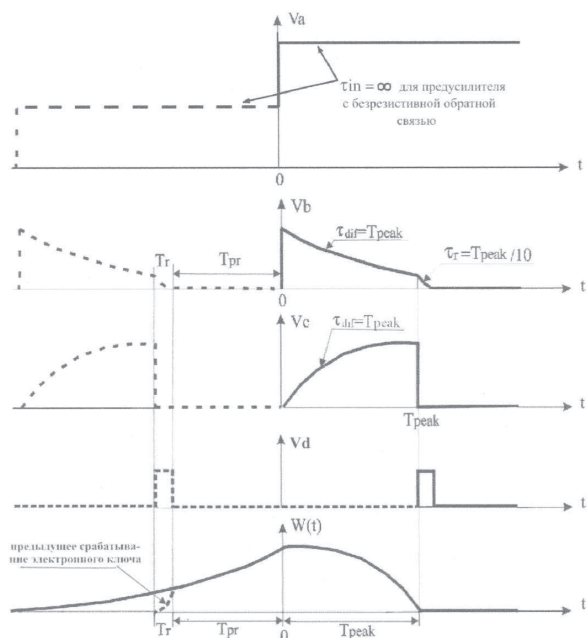
Способ увеличения быстродействия спектрометров ионизирующих излучений с ионизационными детекторами без внутреннего усиления, основанный на укорачивании неинформативной части спектрометрических импульсов, включая образованную наложениями других импульсов, путем инжекции в конденсатор, составляющий часть спектрометрического формирователя, компенсирующего заряда до пересечения процессом, представляющим собой аддитивную смесь сигнала, шума со среднеквадратичным значе-

нием $\sqrt{V_{noise}^2}$ полюс частот Δf и компенсирующего заряда, заданного уровня в точке подключения упомянутого конденсатора, отличающийся тем, что инжекцию компенсирующего заряда в конденсатор осуществляют компенсирующим током, изменяющим направление при каждом пересечении процессом заданного уровня; при этом для достижения быстрого укорачивания и точного приведения укорачиваемого импульса к заданному уровню знакопеременный компенсирующий ток по ходу процесса уменьшают в функции времени таким образом, чтобы на заключительной стадии процесса компенсации вызываемые им изменения напряжения на упомянутом конденсаторе составляли не более 1/10 от среднеквадратичного значения шума в точке компенсации до ее начала, а продолжительность заключительной стадии компенсации выбирают не меньшей, чем $5\sqrt{3} / \Delta f$.

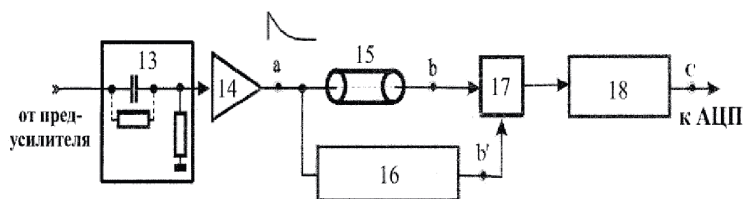


Фиг. 1

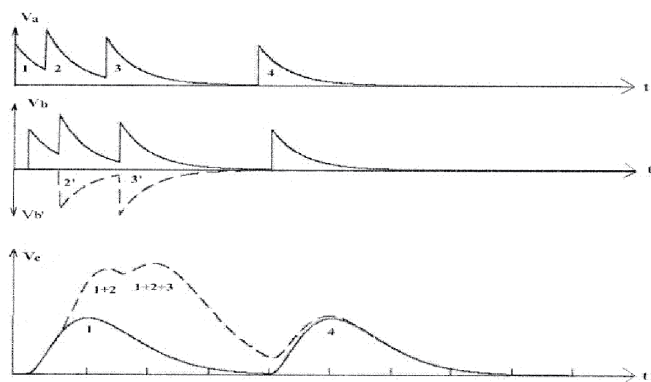




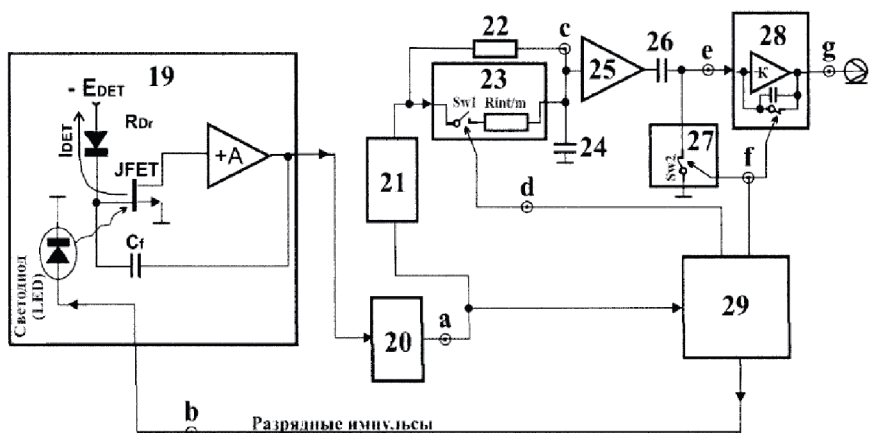
Фиг. 5



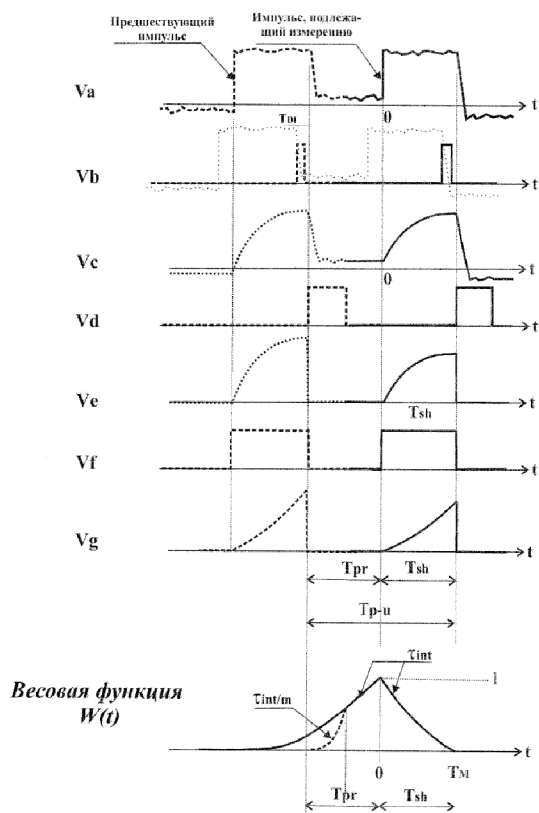
Фиг. 6



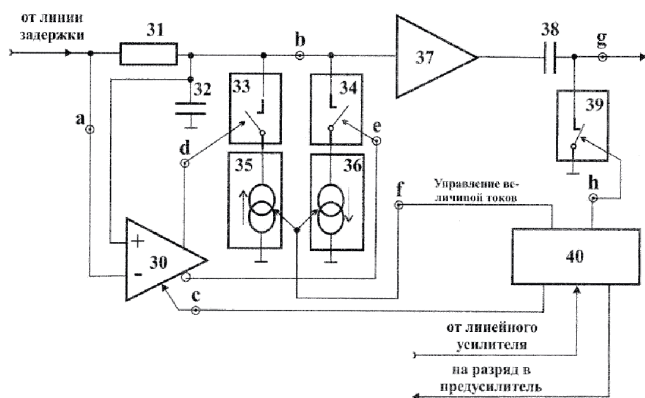
Фиг. 7



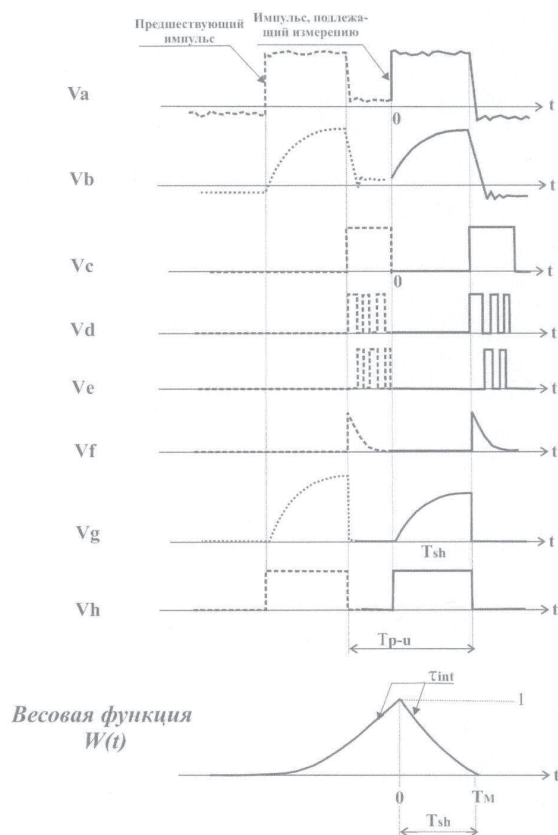
Фиг. 8



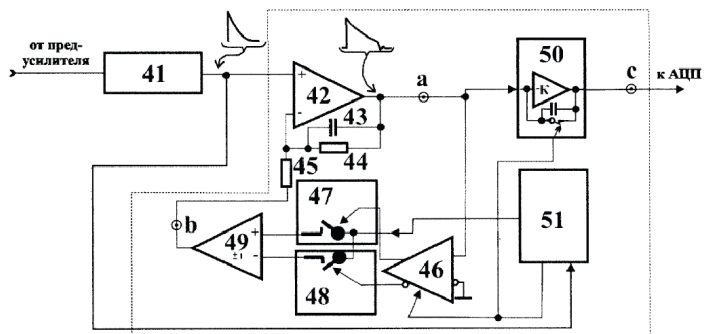
Фиг. 9



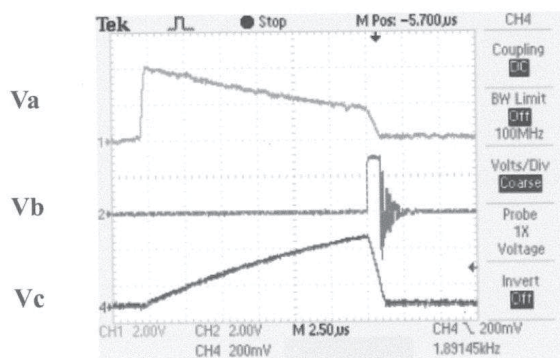
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13

Патент № 2397196 РФ. Способ получения композиционного керамического материала (варианты) / В. В. Иванов, А. С. Кайгородов, Ю. А. Котов, В. Р. Хрустов, В. С. Кортон, А. Ф. Зацепин, В. А. Пустоваров, С. В. Звонарев. Заявл. 09.04.2008, опубл. 20.10.2009. Бюл. № 23.

Реферат

Группа изобретений относится к способам создания люминесцентного композиционного керамического материала на основе альфа-оксида алюминия и алюмомагнетитовой шпинели, который может быть использован при разработке светоизлучающих и светосигнальных устройств, например светодиодов и светофоров. Способ по первому варианту основан на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, содержащих алюминий, магний и кремний, формовании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в воздушной атмосфере или в вакууме. В способе используют нанопорошковые компоненты с размерами частиц от 5 до 60 нм. Алюминий- и магнийсодержащий компонент взят в виде твердого раствора магния в оксиде алюминия $(Al_xMg_{1-x})_2O_3$ ($1 > x > 0,6$) в количестве 60–99 вес. %, а кремнийсодержащий компонент взят в виде карбида кремния SiC в количестве 1–40 вес. %. Формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9. Термообработку ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6, нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными, соответственно 0,1 мин и 200 ч. Технический результат заключается в получении композиционного керамического материала, обладающего интенсивным излучением красного цвета в полосе 680 – 700 нм.

Описание изобретения

Группа изобретений относится к способам создания люминесцентного наноструктурного композиционного керамического материала на основе альфа-оксида алюминия и алюмомагнетитовой шпинели, который может быть использован при разработке светодиодов, других светоизлучающих и светосигнальных устройств (например, светофоров), излучающих определенный цветовой тон видимого спектра.

Люминесцентные наноструктурные композиционные керамические материалы на основе оксида алюминия, имеющие большую ширину запрещенной зоны, обладают потенциальной возможностью для создания в них оптически активных дефектных центров с различными люминесцентными характеристиками. Квантово-размерные ограничения, проявляющиеся при протекании электронных процессов в наноструктурных материалах, изменяют соотношение излучательных и безызлучательных переходов в сторону увеличения вероятности первых, что обеспечивает рост интенсивности люминесценции. Таким образом, наноструктурная алюмооксидная керамика представляет собой перспективную основу для создания эффективных люминесцирующих материалов.

Известен способ получения люминесцентного наноструктурного композиционного керамического материала на основе оксида кремния, включающий синтез нанокристаллического порошка оксида алюминия путем гидролиза исходного вещества с последующей сушкой, распределение порошка оксида алюминия в оксиде кремния и последующее выдерживание при температуре 1150°C в течение двух часов (L. El Mir, A. Amiouk and C. Barthou, Journal of Physics and Chemistry of Solids, Volume 67, Issue 11, November, 2006, pp.2395 – 2399). Результатом применения способа является наноструктурный композиционный керамический материал, содержащий нанокристаллы оксида алюминия Al_2O_3 , распределенные в золь-гель матрице оксида кремния. Указанный материал обеспечивает фотолюминесценцию в диапазонах 400–600 и 700–900 нм.

Недостатком способа является то, что полученный люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал обладает низкой интенсивностью излучения, распределением излучения в двух широких диапазонах спектра (от фиолетового до красного в видимой области), то есть отсутствием определенности цветового тона излучения, а также расположением длинноволнового края полосы свечения в инфракрасной области спектра, что снижает эффективность полезного действия люминесценции материала для видимой части спектра.

Известен способ изготовления люминесцентного монокристалла альфа-оксида алюминия Al_2O_3 с включениями магния и углерода (патент США 6846434; а также Mark S. Akselrod, Anna E. Akselrod, Radiation Protection Dosimetry, 2006, 119(1-4), pp.218–221) путем смешивания порошков оксида алюминия и алюмомагниевого шпинели, их расплавления и кристаллизации в атмосфере, включающей углерод. Полученный материал обеспечивает фотолюминесценцию в диапазоне 700–800 нм с максимумом при 750 нм и шириной спектра более 150 нм.

Недостатками этого способа являются недостатки получаемого материала: низкая интенсивность излучения, сравнимая по величине с интенсивностью возбуждающего облучения, и расположение части излучаемого спектра в инфракрасной области, что снижает эффективность полезного действия для видимой части спектра.

Известен также способ получения керамического материала на основе оксида алюминия из шихты, содержащей более 90 мас.% оксида алюминия, 2,1 мас.% оксида кремния, 0,38 мас.% оксида магния и 2,1 мас.% оксида кальция, включающий прессование шихты под давлением 1250 кг/см² и последующий ее обжиг при температуре 1100–1300°C со скоростью подъема температуры 50–70 град/час и выдержкой при конечной температуре в течение 1 часа (патент РФ 2052422). Полученный по этому способу материал относится к поддающимся обработке резанием конструкционным низкотеплопроводным электроизоляционным материалам, предназначенным для работы в условиях интенсивных тепловых потоков при высоких температурах и не является наноструктурным материалом.

Известен способ изготовления люминесцентного порошкового материала, включающего оксид алюминия, а также кремний и магний (патент РФ 2194736). Способ осуществляется путем смешивания оксида алюминия Al_2O_3 , оксида кремния SiO_2 , карбида магния $MgCO_3$, а также окислов других элементов, включая окисел редкоземельного элемента. Смесь перетирают в течение двух часов и утрамбовывают до соответствующего уровня плотности. Полученную шихту нагревают от температуры 500°C до температуры 1320°C, при которой выдерживают в течение двух часов в восстановительной атмосфере, после чего охлаждают до 700°C и закаляют охлаждением в проточной воде. После охлаждения шихту разбирают под ультрафиолетовой лампой, отделяют светящиеся частицы и измельчают. Полученный порошковый материал со средними размерами зерен от 15 до 20 мкм используется в качестве фотолюминофора с длительным послесвечением.

Недостатками указанного способа являются: потребность в наборе оксидов разных элементов, включая редкоземельный элемент, повышенная стоимость материала и низкая интенсивность излучения, полученный материал не является наноструктурным.

Известен способ получения корундошпинельной керамики MONALOX-SC (патент РФ 2054395), включающий приготовление шихты из порошков оксида магния и нитрида алюминия, ее помол, формование заготовок, их сушку и обжиг в кислородсодержащей атмосфере при температуре 1770–1970°C до прекращения изменений массы заготовок. Получаемый материал предназначен для изготовления изделий разнообразного назначения и имеет структуру с размерами зерен от 3 до 7 мкм. Однако такой материал не является наноструктурным вследствие увеличенного размера зерен.

Наиболее близким к предложенной группе изобретений является способ получения композиционного керамического материала на основе алюмооксидной керамики в альфа-фазе (патент РФ 2138461). Способ включает изготовление исходной композиции со средними размерами частиц от 100 до 5000 нм (предпочтительно от 200 до 5000 нм) путем смешивания порошков альфа-оксида алюминия и других, переходных оксидов алюминия. Эту смесь дополняют спекающими добавками: диоксид кремния, оксид и основной карбонат магния, оксид кальция. Готовят состав для литья (суспензию, шликер), включающий упомянутую смесь, связующее, дисперсионную среду (растворитель), другие добавки. После этого осуществляют формование композиции путем шликерного литья суспензии в форму или на пленочный носитель. Наконец, проводят спекание (термообработку) композиции при температурах от 1400°C до 1650°C в воздушной или восстановительной атмосфере или в вакууме в течение приблизительно 0,5–5 часов. Полученный материал используется при изготовлении керамических изделий с повышенной точностью размеров и слабым короблением, имеет средний размер частиц порядка 200 нм.

Недостатком указанного способа является получение материала, не являющегося наноструктурированным.

Задачей группы изобретений – вариантов способа – является создание наноструктурного композиционного керамического материала, обеспечивающего люминесценцию с высокой интенсивностью излучения в узкой полосе частот видимого спектра, соответствующей одному цветовому тону.

Для решения поставленной задачи предложено двенадцать вариантов способа.

Способ получения композиционного керамического материала по первому варианту основан на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, содержащих алюминий, магний и кремний, формовании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в воздушной атмосфере или в вакууме. Способ отличается тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размером частиц от 5 до 60 нм, причем алюминий- и магнийсодержащий компонент взят в виде твердого раствора магния в оксиде алюминия ($(Al_xMg_{1-x})_2O_3$ ($1 > x > 0,6$)) в количестве 60–99 вес. %, предпочтительно 87–92 вес. %, а кремнийсодержащий компонент взят в виде карбида кремния SiC в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по первому варианту отличается тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа. Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по первому варианту отличается тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и карбида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по первому варианту отличается тем, что суспензия содержит смесь порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и карбида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

Способ получения композиционного керамического материала по второму варианту основан на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, со-

держатся алюминий, магний и диоксид кремния SiO_2 , формировании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C , в воздушной атмосфере или в вакууме. Отличается тем, что в качестве вышеуказанных компонентов композиции используют нанопорошки с размерами частиц от 5 до 60 нм, причем алюминий- и магнийсодержащий компонент взят в виде твердого раствора магния в оксиде алюминия $(\text{Al}_x\text{Mg}_{1-x})_2\text{O}_3$ ($1 > x > 0,6$) в количестве 60–99 вес. %, предпочтительно 87–92 вес. %, а компонент, содержащий диоксид кремния, взят в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формирование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C , а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по второму варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа. Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по второму варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и диоксида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по второму варианту отличается тем, что суспензия содержит смесь порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и диоксида кремния в количестве в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

Способ получения композиционного керамического материала по третьему варианту основан на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, первый из которых содержит оксид алюминия Al_2O_3 , второй – оксид магния MgO , а третий компонент содержит кремний, формировании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C , в воздушной атмосфере или в вакууме. Отличается тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размером частиц от 5 до 60 нм, в качестве первого компонента взят оксид алюминия в количестве 50–98,9 вес. %, предпочтительно 81–95,9 вес. %, второй компонент взят в количестве 0,1–10 вес. %, предпочтительно 0,1–3 вес. %, третий компонент взят в виде карбида кремния SiC в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 4–16 вес. %, формирование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C , а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по третьему варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа. Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по третьему варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков оксида магния, оксида алюминия и карбида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по третьему варианту отличается тем, что суспензия содержит смесь порошков оксида магния,

оксида алюминия и карбида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

Способ получения композиционного керамического материала по четвертому варианту основан на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, первый из которых содержит оксид алюминия Al_2O_3 , второй – оксид магния MgO , третий – диоксид кремния SiO_2 , формировании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен $1650^\circ C$, в воздушной атмосфере или в вакууме. Отличается тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размером частиц от 5 до 60 нм, в качестве первого компонента взят оксид алюминия в количестве 50–98,9 вес. %, предпочтительно 84–91,9 вес. %, второй компонент взят в количестве 0,1–10 вес. %, предпочтительно 0,1–3 вес. %, третий компонент взят в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формирование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным $1200^\circ C$, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по четвертому варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа. Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по четвертому варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков оксида магния, оксида алюминия и диоксида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по четвертому варианту отличается тем, что суспензия содержит смесь порошков оксида магния, оксида алюминия и диоксида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

Способ получения композиционного керамического материала по пятому варианту основан на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, содержащих алюминий, магний и кремний, формировании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен $1650^\circ C$. Отличается тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размером частиц от 5 до 60 нм, причем алюминий- и магнийсодержащий компонент взят в виде твердого раствора магния в оксиде алюминия $(Al_xMg_{1-x})_2O_3$ ($1 > x > 0,6$) в количестве 60–99 вес. %, предпочтительно 87–92 вес. %, а кремнийсодержащий компонент взят в виде карбида кремния SiC в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формирование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным $1200^\circ C$, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по пятому варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа. Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по пятому варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси

порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и карбида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по пятому варианту отличается тем, что суспензия содержит смесь порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и карбида кремния в количестве в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

Способ получения композиционного керамического материала по шестому варианту основан на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, содержащих алюминий, магний и диоксид кремния SiO_2 , формировании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C. Отличается тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размером частиц от 5 до 60 нм, причем алюминий- и магнийсодержащий компонент взят в виде твердого раствора магния в оксиде алюминия $(\text{Al}_x\text{Mg}_{1-x})_2\text{O}_3$ ($1 > x > 0,6$) в количестве 60–99 вес. %, предпочтительно 87–92 вес. %, а компонент, содержащий диоксид кремния, взят в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формирование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по шестому варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа. Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по шестому варианту отличается тем, что формирование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и диоксида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по шестому варианту отличается тем, что суспензия содержит смесь порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и диоксида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

Способ получения композиционного керамического материала по седьмому варианту основан на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, первый из которых содержит оксид алюминия Al_2O_3 , второй - оксид магния MgO , а третий компонент содержит кремний, формировании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C. Отличается тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размером частиц от 5 до 60 нм, в качестве первого компонента взят оксид алюминия в количестве 50–98,9 вес. %, предпочтительно 81–95,9 вес. %, второй компонент взят в количестве 0,1–10 вес. %, предпочтительно 0,1–3 вес. %, третий компонент взят в виде карбида кремния SiC в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 4–16 вес. %, формирование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по седьмому варианту отличается тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа. Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по седьмому варианту отличается тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков оксида магния, оксида алюминия и карбида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по седьмому варианту отличается тем, что суспензия содержит смесь порошков оксида магния, оксида алюминия и карбида кремния в количестве в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

Способ получения композиционного керамического материала по восьмому варианту основан на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, первый из которых содержит оксид алюминия Al_2O_3 , второй – оксид магния MgO , третий – диоксид кремния, формовании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C. Отличается тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размером частиц от 5 до 60 нм, в качестве первого компонента взят оксид алюминия в количестве 50–98,9 вес. %, предпочтительно 84–91,9 вес. %, второй компонент взят в количестве 0,1–10 вес. %, предпочтительно 0,1–3 вес. %, третий компонент взят в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по восьмому варианту отличается тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа.

Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по восьмому варианту отличается тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков оксида магния, оксида алюминия и диоксида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по восьмому варианту отличается тем, что суспензия содержит смесь порошков оксида магния, оксида алюминия и диоксида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

Способ получения композиционного керамического материала по девятому варианту основан на формовании композиции с использованием порошкового компонента, включающего алюминий, и другого компонента, включающего магний и кремний, и окончательной термообработке полученной композиции при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в воздушной атмосфере или в вакууме. Отличается тем, что при формовании композиции в качестве компонента, включающего алюминий, используют нанопорошок с размерами частиц 5–60 нм, представляющий собой или оксид алюминия или твердый раствор магния в оксиде алюминия $(AlMg)_2O_3$, который прессуют под давлением 0,3–0,5 ГПа до достижения относительной плотности 0,2–0,7, осуществляют пропитку прессовки другим компонентом, в качестве

которого взят жидкий материал, содержащий ионы магния и кремния, сушат пропитанную прессовку при температуре, меньшей температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала, операции пропитки и сушки повторяют до достижения заданной концентрации вводимой добавки магния и кремния в пределах 1–40 вес. % от общего конечного веса прессовки, после чего осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной прессовки при температуре 200–800°C, предпочтительно 400–500°C, с выдержкой 1–180 минут, предпочтительно 30–40 мин, наконец, ведут окончательную термообработку полученной композиции до достижения относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по девятому варианту отличается тем, что после промежуточной термообработки пропитанной и высушенной прессовки осуществляют ее дополнительное прессование с достижением относительной плотности 0,3–0,9.

Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по девятому варианту отличается тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит магниорганическое соединение вида RMgHal , где R – органический радикал, например, этил или бутил или пропил, Hal – это хлор Cl или бром Br или йод I, при мольном соотношении $\text{R:Mg:Hal} = 1:1:1$, а другой из указанных компонентов содержит метилтриэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{SiCH}_3$, или тетраэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$, или тетраметилдисилоксан $(\text{CH}_3)_2\text{HSiOSiH}(\text{CH}_3)_2$, или любое весовое сочетание любых двух из указанных трех соединений, или любое весовое сочетание трех из указанных соединений.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по девятому варианту отличается тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит растворы, содержащие магний, например, нитрат магния или хлорид магния или любое весовое сочетание двух из указанных растворов, а другой из указанных компонентов содержит жидкое стекло $(\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_3)_n$.

Способ получения композиционного керамического материала по десятому варианту основан на формировании композиции в виде пористой матрицы шликерным литьем из суспензии, включающей связующее, растворитель и порошковый компонент, включающую алюминий, с использованием при формировании композиции также другого компонента, включающего магний и кремний, и окончательной термообработке полученной композиции при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в воздушной атмосфере или в вакууме. Отличается тем, что в качестве компонента суспензии, включающего алюминий, используют нанопорошок с размерами частиц 5–60 нм, представляющий собой или оксид алюминия, или твердый раствор магния в оксиде алюминия $(\text{AlMg})_2\text{O}_3$, шликерное литье из суспензии осуществляют с достижением относительной плотности пористой матрицы 0,2–0,7, осуществляют пропитку пористой матрицы другим компонентом, в качестве которого взят жидкий материал, содержащий ионы магния и кремния, сушат пропитанную матрицу при температуре, меньшей температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала, операции пропитки и сушки повторяют до достижения заданной концентрации вводимой добавки магния и кремния в пределах 1–40 вес. % от общего конечного веса пропитанной и высушенной пористой матрицы, осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной матрицы при температуре 200–800°C, предпочтительно

400–500°C, с выдержкой 1–180 минут, предпочтительно 30–40 мин, наконец, ведут окончательную термообработку полученной композиции до достижения относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по десятому варианту отличается тем, что после промежуточной термообработки пропитанной и высушенной матрицы осуществляют ее дополнительное прессование с достижением относительной плотности 0,3–0,9.

Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по десятому варианту отличается тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит магниорганическое соединение вида $RMgHal$, где R – органический радикал, например, этил или бутил или пропил, Hal – это хлор Cl или бром Br, или йод I, при мольном соотношении $R:Mg:Hal = 1:1:1$, а другая из указанных составляющих содержит метилтриэтоксисилан $(C_2H_5O)_3SiCH_3$, или тетраэтоксисилан $(C_2H_5O)_4Si$, или тетраметилдисилоксан $(CH_3)_2HSiOSiH(CH_3)_2$, или любое весовое сочетание любых двух из указанных трех соединений, или любое весовое сочетание трех из указанных соединений.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по десятому варианту отличается тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит растворы, содержащие магний, например, нитрат магния или хлорид магния или любое весовое сочетание двух из указанных растворов, а другая из указанных компонентов содержит жидкое стекло $(Na_2Si_2O_3)_n$.

Способ получения композиционного керамического материала по одиннадцатому варианту основан на формировании композиции с использованием порошкового компонента, включающего алюминий, и другого компонента, включающего магний и кремний, и окончательной термообработке полученной композиции при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C. Отличается тем, что при формировании композиции в качестве компонента, включающего алюминий, используют нанопорошок с размерами частиц 5–60 нм, представляющий собой или оксид алюминия или твердый раствор магния в оксиде алюминия $(AlMg)_2O_3$, который прессуют под давлением 0,3–0,5 ГПа до достижения относительной плотности 0,2–0,7, осуществляют пропитку прессовки другим компонентом, в качестве которого взят жидкий материал, содержащий ионы магния и кремния, сушат пропитанную прессовку при температуре, меньшей температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала, операции пропитки и сушки повторяют до достижения заданной концентрации вводимой добавки магния и кремния в пределах 1–40 вес. % от общего конечного веса прессовки, после чего осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной прессовки при температуре 200–800°C, предпочтительно 400–500°C, с выдержкой 1–180 минут, предпочтительно 30–40 мин, наконец, ведут окончательную термообработку полученной композиции в атмосфере азота или аргона до достижения относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по одиннадцатому варианту отличается тем, что после промежуточной термообработки пропитанной

и высушенной прессовки осуществляют ее дополнительное прессование с достижением относительной плотности 0,3–0,9.

Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по одиннадцатому варианту отличается тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит магнийорганическое соединение вида RMgHal , где R - органический радикал, например, этил, или бутил, или пропил, Hal - это хлор Cl или бром Br, или йод I, при мольном соотношении $\text{R:Mg:Hal} = 1:1:1$, а другая из указанных составляющих содержит метилтриэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{SiCH}_3$, или тетраэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$, или тетраметилдисилоксан $(\text{CH}_3)_2\text{HSiOSiH}(\text{CH}_3)_2$, или любое весовое сочетание любых двух из указанных трех соединений, или любое весовое сочетание трех из указанных соединений.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по одиннадцатому варианту отличается тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит растворы, содержащие магний, например, нитрат магния, или хлорид магния, или любое весовое сочетание двух из указанных растворов, а другая из указанных составляющих содержит жидкое стекло $(\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_3)_n$.

Способ получения композиционного керамического материала по двенадцатому варианту основан на формировании композиции в виде пористой матрицы шликерным литьем из суспензии, включающей связующее, растворитель и порошковый компонент, включающий алюминий, с использованием при формировании композиции также другого компонента, включающего магний и кремний, и окончательной термообработке полученной композиции при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C . Отличается тем, что в качестве компонента суспензии, включающего алюминий, используют нанопорошок с размерами частиц 5–60 нм, представляющий собой или оксид алюминия или твердый раствор магния в оксиде алюминия $(\text{AlMg})_2\text{O}_3$, шликерное литье из суспензии осуществляют с достижением относительной плотности пористой матрицы 0,2–0,7, осуществляют пропитку пористой матрицы другим компонентом, в качестве которого взят жидкий материал, содержащий ионы магния и кремния, сушат пропитанную матрицу при температуре, меньшей температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала, операции пропитки и сушки повторяют до достижения заданной концентрации вводимой добавки магния и кремния в пределах 1–40 вес. % от общего конечного веса пористой матрицы, осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной матрицы при температуре $200\text{--}800^\circ\text{C}$, предпочтительно $400\text{--}500^\circ\text{C}$, с выдержкой 1–180 минут, предпочтительно 30–40 мин, наконец, ведут окончательную термообработку полученной композиции в атмосфере азота или аргона до достижения относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран равным 1200°C , а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

Еще способ получения композиционного керамического материала по двенадцатому варианту отличается тем, что после промежуточной термообработки пропитанной и высушенной матрицы осуществляют ее дополнительное прессование с достижением относительной плотности 0,3–0,9.

Кроме того, способ получения композиционного керамического материала по двенадцатому варианту отличается тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все

остальное, одна из указанных составляющих содержит магнийорганическое соединение вида RMgHal , где R – органический радикал, например, этил, или бутил, или пропил, Hal – это хлор Cl или бром Br, или йод I, при мольном соотношении $\text{R:Mg:Hal} = 1:1:1$, а другая из указанных составляющих содержит метилтриэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{SiCH}_3$, или тетраэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$, или тетраметилдисилоксан $(\text{CH}_3)_2\text{HSiOSiH}(\text{CH}_3)_2$, или любое весовое сочетание любых двух из указанных трех соединений, или любое весовое сочетание трех из указанных соединений.

Наконец, способ получения композиционного керамического материала по двенадцатому варианту отличается тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой – все остальное, одна из указанных составляющих содержит растворы, содержащие магний, например, нитрат магния, или хлорид магния, или любое весовое сочетание двух из указанных растворов, а другая из указанных составляющих содержит жидкое стекло $(\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_3)_n$.

Технический результат предложенной группы из двенадцати изобретений заключается в расширении арсенала технических средств – способов изготовления люминесцентных наноструктурных композиционных керамических материалов, интенсивно люминесцирующих в узкой полосе частот видимого спектра, то есть в виде одного цветового тона. А именно, создана группа способов изготовления наноструктурного композиционного керамического материала, обладающего интенсивным излучением красного цвета в полосе 680–700 нм. Это обеспечивается экспериментально подобранными, указанными выше операциями и режимами предложенных способов.

На чертеже изображены спектры катодолюминесценции трех люминесцентных материалов: 1 – образец 1 материала, изготовленного предложенным способом; 2 и 3 – образцы 2 и 3 материалов, изготовленные способами, существенные признаки которых выходят за пределы предложенных способов. Спектры приведенной на чертеже импульсной катодолюминесценции возбуждались при комнатной температуре электронным пучком ускорителя RADAN (плотность тока 1 А/см^2 , энергия электронов 180 кэВ, длительность импульса 3 нс) и регистрировались с помощью ПЗС-линейки и компьютера.

В таблице приведены примеры люминесцентного наноструктурного композиционного керамического материала (образцы 1, 4–12), изготовленного предложенными способами, и примеры двух наноструктурных композиционных керамических материалов (образцы 2, 3), изготовленных способами, существенные признаки которых не соответствуют предложенным способам. Номер образца материала соответствует номеру примера осуществления способа, приведенного ниже. Размеры зерен магний- и кремнийсодержащих компонентов всех указанных в таблице образцов находятся в пределах от 1 до 100 нм, за исключением образца 3, размеры указанных зерен которого находятся в пределах от 90 до 120 нм. Размеры зерен алюминийсодержащего компонента всех указанных в таблице образцов находятся в пределах от 200 до 2000 нм. В таблице также указан относительный уровень интенсивности излучения образцов 1, 4–12 материала на длине волны 690 нм в сравнении с единичным уровнем излучения образцов 2, 3.

В колонке 2 таблицы указано содержание в люминесцентном материале альфа-оксида алюминия $-\text{Al}_2\text{O}_3$, являющегося алюминийсодержащим компонентом материала. В колонках 3–6 приведено содержание магний- и кремнийсодержащих компонентов материала. Магний- и кремнийсодержащие компоненты материала включают в себя также алюминий.

Как показано на чертеже, значение амплитуды спектра излучения при длине волны 690 нм для материала, полученного предложенным способом (кривая 1, образец 1), составляет 675 относительных единиц, а для материала, изготовленного другим способом (кривые 2 и 3, образцы 2, 3), значение амплитуды спектра излучения при той же длине волны (690 нм) равно 25 относительным единицам. То есть, интенсивность излу-

чения образца 1 люминесцентного материала в 27 раз выше интенсивности излучения образцов 2 и 3. Интенсивность люминесценции других образцов материала, полученного предложенным способом (4–12), в 22–27 раз превышает интенсивность образцов 2, 3.

Предложенная группа изобретений-способов обеспечивает создание люминесцентного наноструктурного композиционного керамического материала на основе матрицы, представляющей собой альфа-фазу оксида алюминия Al_2O_3 в количестве 53,1–99,0 вес. % с размерами зерен от 200 до 2000 нм. Матрица альфа-оксида алюминия представляет собой алюминийсодержащий компонент материала. В указанной матрице распределены первая и вторая наноструктурные компоненты, размеры зерен каждого из которых находятся в пределах от 1 до 100 нм. Первый наноструктурный компонент (кремнийсодержащий компонент материала) содержится в количестве 0,9–39,9 вес. % и представляет собой нанокристаллическую керамическую фазу алюмосиликата $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, или алюмосиликата $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, или совокупности алюмосиликатов $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, взятых в любом объемном соотношении друг с другом. Второй наноструктурный компонент (магнийсодержащий компонент материала) является керамической фазой алюмомагниевого шпинели $MgAl_2O_4$, взятой в количестве 0,1–7 вес. %.

Ниже описаны примеры осуществления предложенного способа (примеры 1, 4–12) и два примера (2 и 3) осуществления способа, отличающегося от предложенного существенными признаками.

№ образца материала	$\alpha-Al_2O_3$ вес. %	$MgAl_2O_4$ и/или $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ соотн. вес. %	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$ вес. %	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ вместе вес. %	Соотношение между $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ вес. %	Относительный уровень интенсивности излучения (отн. ед.)
1	2	3	4	5	6	7
1	65,5	4,9 29,6	-	-	-	27
2	91,7	-	-	-	-	1
3	99,2	-	0,8	-	-	1
4	53,1	7,0 39,9	-	-	-	27
5	53,1	7,0 -	39,9	-	-	27
6	53,1	7,0 -	-	39,9	20:80	25
7	75,5	5,1 19,4	-	-	-	23
8	75,5	5,1 -	19,4	-	-	24
9	75,5	5,1 -	-	19,4	80:20	24
10	99,0	0,1 0,9	-	-	-	22
11	99,0	0,1 -	0,9	-	-	23
12	99,0	0,1 -	-	0,9	30:70	22

Пример 1. Способ получения наноструктурного композиционного керамического материала по первому варианту изобретения осуществлен следующим образом. В шаровой мельнице смешиванием получают композицию исходных нанопорошков с размерами частиц от 20 до 50 нм: твердый раствор магния в оксиде алюминия $(Al_{0,7}Mg_{0,3})_2O_3$ в количестве 88 вес. %, и карбид кремния SiC в количестве 12 вес. %. Затем осуществляют формирование композиции до достижения относительной плотности 0,6 путем прессования композиции под давлением 1,4 ГПа в установке магнитно-импульсного прессования или с использованием статического пресса. Последующую термообработку композиции ведут в электропечи сопротивления (типа НТ 40/16) при температуре 1400°C, в течение

1,5 ч, в воздушной атмосфере. При этом обеспечивается достижение керамикой относительной плотности 0,89.

В результате получен люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал, состав и интенсивность излучения которого соответствует образцу 1 (таблица), с размерами зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов от 5 до 55 нм. Такие же характеристики материала получены осуществлением этого примера способом с заменой вышеуказанной операции прессования на шликерное литье. Используемая при этом суспензия (шликер) содержит смесь порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и карбида кремния в количестве 90,0 вес. %, связующее, например спиртовой раствор поливинилбутирала или полиметилметакрилата, или полибутилметакрилата, в количестве 2,0 вес. %, пластификатор, например триэтиленгликольдиметакрилат или дибутилфталат, или диметилфталат, или диолкилфталат, в количестве 2,5 вес. % и дисперсионную среду, например изопропанол или безводный этанол, в количестве 5,5 вес. %.

Примеры 2 и 3. Это примеры осуществления способа, отличающегося от предложенного своими существенными признаками, приведенными в таблице и в настоящем абзаце. Образец 2 с размерами зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов от 70 до 100 нм получен способом, сходным с предложенным способом, описанным в примере 1, но отличающимся от него тем, что в качестве исходных материалов использованы твердый раствор магния в оксиде алюминия в количестве 40 вес. % и карбид кремния в количестве 60 вес. % со средними размерами зерен 110 – 180 нм. При изготовлении образца 3, где размеры зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов составляют от 90 до 120 нм, использован тот же способ, что и при получении образца 2, но при температуре термообработки 1700°C.

Пример 4. Осуществлен способ получения композиционного керамического материала по пятому варианту, по параметрам отличается от примера 1 только проведением термообработки в атмосфере азота при атмосферном давлении. Полученный люминесцентный материал соответствует образцу 4 (таблица), размеры зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов - от 42 до 68 нм.

Пример 5. При осуществлении способа по второму варианту изобретения смешивают исходные нанопорошки с размерами частиц от 5 до 48 нм: твердый раствор магния в оксиде алюминия $(Al_{0,7}Mg_{0,3})_2O_3$ в количестве 86 вес. % и диоксид кремния SiO_2 в количестве 14 вес. %. Затем осуществляют формование композиции до достижения относительной плотности 0,6 путем прессования композиции под давлением 1,4 ГПа. Термообработку композиции ведут в вакууме при температуре 1400°C, в течение 1,4 ч. При этом обеспечивается достижения керамикой относительной плотности 0,88. В результате получен люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал, состав и интенсивность излучения которого соответствуют образцу 5 (таблица), с размерами зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов от 45 до 65 нм. При осуществлении описанного способа с термообработкой в атмосфере аргона или азота, что соответствует четвертому варианту изобретения, полученный материал также соответствует образцу 5 с вышеуказанными параметрами.

Пример 6. Осуществлен способ по третьему и седьмому вариантам изобретения. Смешивают исходные нанопорошки с размерами частиц от 30 до 60 нм: оксид алюминия в количестве 55 вес. %, оксид магния в количестве 8 вес. %, карбид кремния в количестве 37 вес. %. Формование композиции производят до достижения относительной плотности 0,6 путем прессования смеси порошков под давлением 1,4 ГПа. Термообработку прессовки ведут при температуре 1300°C, в течение 12 ч, в воздухе или в аргоне при атмосферном давлении. При этом обеспечивается достижение керамикой относительной

тельной плотности 0,91. В результате применения такого способа при термообработке как в воздушной атмосфере, так и в атмосфере аргона получен люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал с размерами зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов от 60 до 95 нм, соответствующий образцу 6 (таблица).

Пример 7. Способ по восьмому варианту изобретения осуществлен при следующих параметрах: в качестве исходных нанопорошков с размерами зерен от 5 до 60 нм смешивают оксид алюминия (85 вес. %), оксид магния (10 вес. %) и диоксид кремния (5 вес. %). Формуют композицию до достижения относительной плотности 0,5 прессованием под давлением 1,0 ГПа. Термообработку композиции ведут в атмосфере азота, при температуре 1300°C, в течение 30 мин. Конечная относительная плотность керамики - 0,7. Полученный люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал с размерами зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов от 70 до 95 нм соответствует образцу 7 (таблица).

Пример 8. Девятый вариант изобретения. Нанопорошок оксида алюминия с размерами частиц 10–60 нм прессуют под давлением 1,0 ГПа до достижения относительной плотности 0,5. Затем осуществляют пропитку прессовки жидким материалом, содержащим ионы магния и кремния, а именно смесью раствора нитрата магния в количестве 36 вес. % и жидкого стекла $(\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_3)_n$ в количестве 64 вес. %. Сушат пропитанную прессовку при температуре 80°C, которая на 20°C ниже температуры кипения жидкой составляющей данного жидкого материала. Осуществляют восьмикратное повторение операций пропитки и сушки. Обеспечивается значение концентрации вводимых элементов магния и кремния, равное 25 вес. % от общего конечного веса пропитанной и высушенной прессовки. Производят промежуточную термообработку пропитанной и высушенной прессовки при температуре 500°C с выдержкой 40 минут. После чего ведут окончательную термообработку полученной композиции в воздушной атмосфере при температуре 1250°C в течение 20 ч. Значение относительной плотности керамики составляет 0,84.

В результате получен люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал с размерами зерен от 60 до 96 нм, соответствующий образцу 8 (таблица). При реализации рассмотренного в этом примере способа по четвертому варианту изобретения, с проведением термообработки в атмосфере азота или аргона, параметры полученного люминесцентного наноструктурного композиционного керамического материала соответствует вышеуказанному образцу 8.

В другом случае реализации девятого варианта способа прессуют нанопорошок твердого раствора магния в оксиде алюминия (вместо вышеупомянутого оксида алюминия) под давлением 0,9 ГПа до достижения относительной плотности 0,5 и сохранении остальных параметров этого способа. Получаемый материал практически соответствует образцу 8.

В третьем случае реализации девятого варианта способа после предварительной термообработки проводят дополнительное прессование с достижением относительной плотности 0,9. При этом размер зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов в упомянутом образце 8 материала оказался в пределах от 55 до 95 нм.

Пример 9. В десятом варианте изобретения осуществляют формование композиции в виде пористой матрицы шликерным литьем из суспензии, содержащей твердый раствор магния в оксиде алюминия в виде нанопорошка с размерами частиц 5–60 нм в количестве 76 вес. %, связующее - спиртовой раствор поливинилбутирала или полиметилметакрилата, или полибутилметакрилата в количестве 7,0 вес. %, пластификатор - триэтиленгликольдиметакрилат или дибутилфталат, или диметилфталат, или диоктилфталат в количестве 8 вес. % и дисперсионную среду - изопропанол или безводный эта-

нол в количестве 9 вес. %. Шликерное литье из суспензии осуществляют с достижением относительной плотности пористой матрицы 0,5. Затем осуществляют пропитку пористой матрицы жидким материалом, содержащим ионы магния и кремния, а именно смесью магнийорганического соединения RMgCl и тетраэтоксисилана $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$. В данном примере в качестве органического радикала R взят этил. Мольное соотношение составляющих указанного соединения R:Mg:Cl соответствует 1:1:1. В составе упомянутой смеси 70 вес. % составляет тетраэтоксисилан, остальное – магнийорганическое соединение.

Сушат пропитанную пористую матрицу при температуре 130°C , которая ниже температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала (170°C). Повторяют операции пропитки и сушки до достижения значения концентрации вводимой добавки магния и кремния 30 вес. % от общего конечного веса пористой матрицы. Затем осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной матрицы при температуре 400°C , с выдержкой в течение 30 минут, и ведут окончательную термообработку полученной композиции в воздушной атмосфере до достижения относительной плотности 0,94 при температуре 1200°C , в течение 50 ч. Являющийся результатом осуществления способа люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал с размерами зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов от 70 до 100 нм соответствует образцу 9 (таблица).

Пример 10. При получении люминесцентного наноструктурного композиционного керамического материала по одиннадцатому варианту изобретения прессуют порошок твердого раствора магния в оксиде алюминия с размером частиц 5–60 нм под давлением 0,3 ГПа до достижения относительной плотности 0,4. Затем пропитывают прессовку жидким материалом, содержащим ионы магния и кремния, а именно смесью магнийорганического соединения RMgCl и тетраэтоксисилана $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$. В данном примере в качестве органического радикала R использован этил. Мольное соотношение составляющих указанного соединения R:Mg:Cl соответствует 1:1:1. В составе упомянутой смеси 70 вес. % составляет тетраэтоксисилан, остальное – магнийорганическое соединение. Сушат пропитанную прессовку при температуре 130°C (температура кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала равна 170°C). Операции пропитки и сушки повторяют до достижения заданной концентрации вводимой добавки магния и кремния в пределах 20 вес. % от общего конечного веса пропитанной и высушенной прессовки. После этого осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной прессовки при температуре 500°C с выдержкой 180 минут. Наконец, ведут окончательную термообработку полученной композиции в атмосфере азота до достижения относительной плотности не менее 0,7 при температуре 1200°C в течение 200 ч.

В результате получен люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал с размерами зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов от 70 до 100 нм, соответствующий образцу 10 (таблица).

Пример 11. При реализации двенадцатого варианта изобретения осуществляют формование композиции в виде пористой матрицы шликерным литьем из суспензии, содержащей оксид алюминия в виде нанопорошка с размерами частиц 5–60 нм в количестве 85 вес. %, связующее – спиртовой раствор поливинилбутирала или полиметилметакрилата, или полибутилметакрилата в количестве 3 вес. %, пластификатор триэтилглицольдиметакрилат, или дибутилфталат, или диметилфталат, или диолкилфталат в количестве 2 вес. % и дисперсионную среду – изопропанол или безводный этанол в количестве 10 вес. %. Шликерное литье из суспензии осуществляют с достижением относительной плотности пористой матрицы 0,4. Затем осуществляют пропитку пористой матрицы жидким материалом, содержащим ионы магния и кремния, а именно смесью

раствора нитрата магния в количестве 18 вес. % и жидкого стекла ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_3$)_n в количестве 82 вес. %.

Сушат пропитанную пористую матрицу при температуре 80°C, которая ниже температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала (100°C). Повторяют операции пропитки и сушки до достижения значения концентрации вводимой добавки магния и кремния 25 вес. % от общего конечного веса пористой матрицы. Затем осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной прессовки при температуре 350°C, с выдержкой в течение 15 минут и ведут окончательную термообработку полученной композиции в воздушной атмосфере до достижения относительной плотности 0,65 при температуре 1300°C, в течение 30 мин. Являющийся результатом осуществления способа люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал с размерами зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов от 60 до 90 нм соответствует образцу 11 (таблица).

Пример 12. Осуществляют шликерное литье из суспензии, содержащей оксид алюминия в виде нанопорошка с размерами частиц 5–60 нм в количестве 80 вес. %, связующее - спиртовый раствор поливинилбутираля, или полиметилметакрилата, или полибутилметакрилата в количестве 8 вес. %, пластификатор - триэтиленгликольдиметакрилат или дибутилфталат, или диметилфталат, или диоктилфталат в количестве 2 вес. % и дисперсионную среду - изопропанол или безводный этанол в количестве 10 вес. %. Шликерное литье из суспензии осуществляют с достижением относительной плотности пористой матрицы 0,4. Затем пропитывают пористую матрицу жидким материалом, содержащим ионы магния и кремния, а именно смесью раствора нитрата магния в количестве 20 вес. % и жидкого стекла ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_3$)_n в количестве 80 вес. %.

Сушат пропитанную пористую матрицу при температуре 80°C, которая ниже температуры кипения жидкой составляющей указанного материала (100°C). Повторяют операции пропитки и сушки до достижения значения концентрации вводимой добавки магния и кремния 20 вес. % от общего конечного веса пористой матрицы. Затем осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной матрицы при температуре 200°C, с выдержкой в течение 50 минут и ведут окончательную термообработку полученной композиции в воздушной атмосфере до достижения относительной плотности 0,93 при температуре 1500°C, в течение 20 ч. Являющийся результатом осуществления описанного в этом примере способа люминесцентный наноструктурный композиционный керамический материал с размерами зерен кремний- и магнийсодержащих компонентов от 75 до 95 нм соответствует образцу 12 (таблица).

Формула изобретения

1. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, содержащих алюминий, магний и кремний, формировании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в воздушной атмосфере или в вакууме, отличающийся тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размерами частиц от 5 до 60 нм, причем алюминий- и магнийсодержащий компонент взят в виде твердого раствора магния в оксиде алюминия ($\text{Al}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}_3$) ($1 > x > 0,6$) в количестве 60–99 вес. %, предпочтительно 87–92 вес. %, а кремнийсодержащий компонент взят в виде карбида кремния SiC в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формирование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

2. Способ получения композиционного керамического материала по п.1, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа.

3. Способ получения композиционного керамического материала по п.1, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

4. Способ получения композиционного керамического материала по п.3, отличающийся тем, что суспензия содержит смесь порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и карбида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

5. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, содержащих алюминий, магний и диоксид кремния SiO_2 , формовании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в воздушной атмосфере или в вакууме, отличающийся тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размерами частиц от 5 до 60 нм, причем алюминий- и магнийсодержащий компонент взят в виде твердого раствора магния в оксиде алюминия $(\text{Al}_x\text{Mg}_{1-x})_2\text{O}_3$ ($1 > x > 0,6$) в количестве 60–99 вес. %, предпочтительно 87–92 вес. %, а компонент, содержащий диоксид кремния, взят в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

6. Способ получения композиционного керамического материала по п.5, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа.

7. Способ получения композиционного керамического материала по п.5, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и диоксида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

8. Способ получения композиционного керамического материала по п.7, отличающийся тем, что суспензия содержит смесь порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и диоксида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

9. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, первый из которых содержит оксид алюминия (Al_2O_3), второй - оксид магния (MgO), а третий компонент содержит кремний, формовании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в воздушной атмосфере или в вакууме, отличающийся тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размерами частиц от 5 до 60 нм, в качестве первого компонента взят оксид алюминия в количестве 50–98,9 вес. %, предпочтительно 81–95,9 вес. %, второй компонент взят в количестве 0,1–10 вес. %, предпочтительно 0,1–3 вес. %, третий компонент взят в виде карбида кремния SiC в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 4–16 вес. %, формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до дости-

жения керамикой относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

10. Способ получения композиционного керамического материала по п.9, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа.

11. Способ получения композиционного керамического материала по п.9, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков оксида алюминия, оксида магния и карбида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

12. Способ получения композиционного керамического материала по п.11, отличающийся тем, что суспензия содержит смесь порошков оксида алюминия, оксида магния и карбида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

13. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, первый из которых содержит оксид алюминия Al_2O_3 , второй - оксид магния MgO , третий - диоксид кремния SiO_2 , формовании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в воздушной атмосфере или в вакууме, отличающийся тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размерами частиц от 5 до 60 нм, в качестве первого компонента взят оксид алюминия в количестве 50–98,9 вес. %, предпочтительно 84–91,9 вес. %, второй компонент взят в количестве 0,1–10 вес. %, предпочтительно 0,1–3 вес. %, третий компонент взят в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

14. Способ получения композиционного керамического материала по п.13, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа.

15. Способ получения композиционного керамического материала по п.13, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков оксида алюминия, оксида магния и диоксида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

16. Способ получения композиционного керамического материала по п.15, отличающийся тем, что суспензия содержит смесь порошков оксида алюминия, оксида магния и диоксида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

17. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, содержащих алюминий, магний и кремний, формовании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, отличающийся тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размерами частиц от 5 до 60 нм, причем алюминий- и магнийсодержащий компонент взят в виде твердого раствора магния в оксиде алюминия $(Al_xMg_{1-x})_2O_3$ ($1 > x > 0,6$) в количе-

стве 60–99 вес. %, предпочтительно 87–92 вес. %, а кремнийсодержащий компонент взят в виде карбида кремния SiC в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

18. Способ получения композиционного керамического материала по п.17, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа.

19. Способ получения композиционного керамического материала по п.17, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и карбида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

20. Способ получения композиционного керамического материала по п.19, отличающийся тем, что суспензия содержит смесь порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и карбида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

21. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, содержащих алюминий, магний и диоксид кремния SiO₂, формовании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, отличающийся тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размерами частиц от 5 до 60 нм, причем алюминий- и магнийсодержащий компонент взят в виде твердого раствора магния в оксиде алюминия (Al_xMg_{1-x})₂O₃ (1 > x > 0,6) в количестве 60–99 вес. %, предпочтительно 87–92 вес. %, а компонент, содержащий диоксид кремния, взят в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

22. Способ получения композиционного керамического материала по п.21, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа.

23. Способ получения композиционного керамического материала по п.21, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и диоксида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

24. Способ получения композиционного керамического материала по п.23, отличающийся тем, что суспензия содержит смесь порошков твердого раствора магния в оксиде алюминия и диоксида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

25. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, первый из которых содержит оксид алюминия (Al₂O₃), второй - оксид магния (MgO), а третий компонент содержит кремний, формовании композиции и ее последующей термообработке при

температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, отличающийся тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размерами частиц от 5 до 60 нм, в качестве первого компонента взят оксид алюминия в количестве 50–98,9 вес. %, предпочтительно 81–95,9 вес. %, второй компонент взят в количестве 0,1–10 вес. %, предпочтительно 0,1–3 вес. %, третий компонент взят в виде карбида кремния SiC в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 4–16 вес. %, формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

26. Способ получения композиционного керамического материала по п.25, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа.

27. Способ получения композиционного керамического материала по п.25, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков оксида алюминия, оксида магния и карбида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

28. Способ получения композиционного керамического материала по п.27, отличающийся тем, что суспензия содержит смесь порошков оксида алюминия, оксида магния и карбида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15 вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

29. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на изготовлении композиции смешиванием порошковых компонентов, первый из которых содержит оксид алюминия (Al_2O_3), второй - оксид магния (MgO), третий - диоксид кремния, формовании композиции и ее последующей термообработке при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, отличающийся тем, что вышеуказанные компоненты представляют собой нанопорошки с размерами частиц от 5 до 60 нм, в качестве первого компонента взят оксид алюминия в количестве 50–98,9 вес. %, предпочтительно 84–91,9 вес. %, второй компонент взят в количестве 0,1–10 вес. %, предпочтительно 0,1–3 вес. %, третий компонент взят в количестве 1–40 вес. %, предпочтительно 8–13 вес. %, формование композиции осуществляют до достижения относительной плотности 0,3–0,9, причем термообработку композиции ведут до достижения керамикой относительной плотности не менее 0,6 в атмосфере азота или аргона, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

30. Способ получения композиционного керамического материала по п.29, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют ее прессованием под давлением 0,2–2,0 ГПа.

31. Способ получения композиционного керамического материала по п.29, отличающийся тем, что формование композиции осуществляют шликерным литьем, для чего перед указанным литьем композицию в виде смеси порошков оксида алюминия, оксида магния и диоксида кремния преобразуют в суспензию, включающую также, по крайней мере, связующее, пластификатор и дисперсионную среду.

32. Способ получения композиционного керамического материала по п.31, отличающийся тем, что суспензия содержит смесь порошков оксида алюминия, оксида магния и диоксида кремния в количестве 65–99,7 вес. %, связующее в количестве 0,1–15

вес. %, пластификатор в количестве 0,1–10 вес. % и дисперсионную среду в количестве 0,1–10 вес. %.

33. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на формовании композиции с использованием порошкового компонента, включающего алюминий, и другого компонента, включающего магний и кремний, и окончательной термообработке полученной композиции при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в воздушной атмосфере или в вакууме, отличающийся тем, что при формовании композиции в качестве компонента, включающего алюминий, используют нанопорошок с размерами частиц 5–60 нм, представляющий собой или оксид алюминия, или твердый раствор магния в оксиде алюминия $(AlMg)_2O_3$, который прессуют под давлением 0,3–0,5 ГПа до достижения относительной плотности 0,2–0,7, осуществляют пропитку прессовки другим компонентом, в качестве которого взят жидкий материал, содержащий ионы магния и кремния, сушат пропитанную прессовку при температуре, меньшей температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала, операции пропитки и сушки повторяют до достижения заданной концентрации вводимой добавки магния и кремния в пределах 1–40 вес. % от общего конечного веса прессовки, после чего осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной прессовки при температуре 200–800°C, предпочтительно 400–500°C, с выдержкой 1–180 мин, предпочтительно 30–40 мин, наконец ведут окончательную термообработку полученной композиции до достижения относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

34. Способ получения композиционного керамического материала по п.33, отличающийся тем, что после промежуточной термообработки пропитанной и высушенной прессовки осуществляют ее дополнительное прессование с достижением относительной плотности 0,3–0,9.

35. Способ получения композиционного керамического материала по п.33 или 34, отличающийся тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит магниорганическое соединение вида $RMgHal$, где R – органический радикал, например этил, или бутил, или пропил, Hal – это хлор, или бром, или йод, при мольном соотношении: $R:Mg:Hal = 1:1:1$, а другая из указанных составляющих содержит метилтриэтоксисилан $(C_2H_5O)_3SiCH_3$, или тетраэтоксисилан $(C_2H_5O)_4Si$, или тетраметилдисилоксан $(CH_3)_2HSiOSiH(CH_3)_2$, или любое весовое сочетание любых двух из указанных трех соединений, или любое весовое сочетание трех из указанных соединений.

36. Способ получения композиционного керамического материала по п.33 или 34, отличающийся тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит растворы, содержащие магний, например нитрат магния, или хлорид магния, или любое весовое сочетание двух из указанных растворов, а другая из указанных составляющих содержит жидкое стекло $(Na_2Si_2O_3)_n$.

37. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на формовании композиции в виде пористой матрицы шликерным литьем из суспензии, включающей связующее, растворитель и порошковый компонент, включающий алюминий, с использованием при формовании композиции также другого компонента, включающего магний и кремний, и окончательной термообработке полученной композиции при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, в

воздушной атмосфере или в вакууме, отличающийся тем, что в качестве компонента суспензии, включающего алюминий, используют нанопорошок с размерами частиц 5–60 нм, представляющий собой или оксид алюминия, или твердый раствор магния в оксиде алюминия, шликерное литье из суспензии осуществляют с достижением относительной плотности пористой матрицы 0,2–0,7, осуществляют пропитку пористой матрицы другим компонентом, в качестве которого взят жидкий материал, содержащий ионы магния и кремния, сушат пропитанную матрицу при температуре, меньшей температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала, операции пропитки и сушки повторяют до достижения заданной концентрации вводимой добавки магния и кремния в пределах 1–40 вес. % от общего конечного веса пропитанной и высушенной пористой матрицы, осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной матрицы при температуре 200–800°C, предпочтительно 400–500°C, с выдержкой 1–180 мин, предпочтительно 30–40 мин, наконец ведут окончательную термообработку полученной композиции до достижения относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

38. Способ получения композиционного керамического материала по п.37, отличающийся тем, что после промежуточной термообработки пропитанной и высушенной матрицы осуществляют ее дополнительное прессование с достижением относительной плотности 0,3–0,9.

39. Способ получения композиционного керамического материала по п.37 или 38, отличающийся тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит магниорганическое соединение вида RMgHal , где R – органический радикал, например этил или бутил или пропил, Hal – это хлор, или бром, или йод, при мольном соотношении: $\text{R:Mg:Hal} = 1:1:1$, а другая из указанных составляющих содержит метилтриэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{SiCH}_3$, или тетраэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$, или тетраметилдисилоксан $(\text{CH}_3)_2\text{HSiOSiH}(\text{CH}_3)_2$, или любое весовое сочетание любых двух из указанных трех соединений, или любое весовое сочетание трех из указанных соединений.

40. Способ получения композиционного керамического материала по п.37 или 38, отличающийся тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит растворы, содержащие магний, например нитрат магния, или хлорид магния, или любое весовое сочетание двух из указанных растворов, а другая из указанных составляющих содержит жидкое стекло $(\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_3)_n$.

41. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на формировании композиции с использованием порошкового компонента, включающего алюминий, и другого компонента, включающего магний и кремний, и окончательной термообработке полученной композиции при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, отличающийся тем, что при формировании композиции в качестве компонента, включающего алюминий, используют нанопорошок с размерами частиц 5–60 нм, представляющий собой или оксид алюминия, или твердый раствор магния в оксиде алюминия, который прессуют под давлением 0,3–0,5 ГПа до достижения относительной плотности 0,2–0,7, осуществляют пропитку прессовки другим компонентом, в качестве которого взят жидкий материал, содержащий ионы магния и кремния, сушат пропитанную прессовку при температуре, меньшей температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала, операции пропитки и сушки

повторяют до достижения заданной концентрации вводимой добавки магния и кремния в пределах 1–40 вес. % от общего конечного веса прессовки, после чего осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной прессовки при температуре 200–800°C, предпочтительно 400–500°C, с выдержкой 1–180 мин, предпочтительно 30–40 мин, наконец ведут окончательную термообработку полученной композиции в атмосфере азота или аргона до достижения относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона температур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

42. Способ получения композиционного керамического материала по п.41, отличающийся тем, что после промежуточной термообработки пропитанной и высушенной прессовки осуществляют ее дополнительное прессование с достижением относительной плотности 0,3–0,9.

43. Способ получения композиционного керамического материала по п.41 или 42, отличающийся тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит магнийорганическое соединение вида RMgHal , где R – органический радикал, например этил, или бутил, или пропил, Hal – это хлор, или бром, или йод, при мольном соотношении: $\text{R:Mg:Har} = 1:1:1$, а другая из указанных составляющих содержит метилтриэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{SiCH}_3$, или тетраэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$, или тетраметилдисилоксан $(\text{CH}_3)_2\text{HSiOSiH}(\text{CH}_3)_2$, или любое весовое сочетание любых двух из указанных трех соединений, или любое весовое сочетание трех из указанных соединений.

44. Способ получения композиционного керамического материала по п.41 или 42, отличающийся тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит растворы, содержащие магний, например нитрат магния, или хлорид магния, или любое весовое сочетание двух из указанных растворов, а другая из указанных составляющих содержит жидкое стекло $(\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_3)_n$.

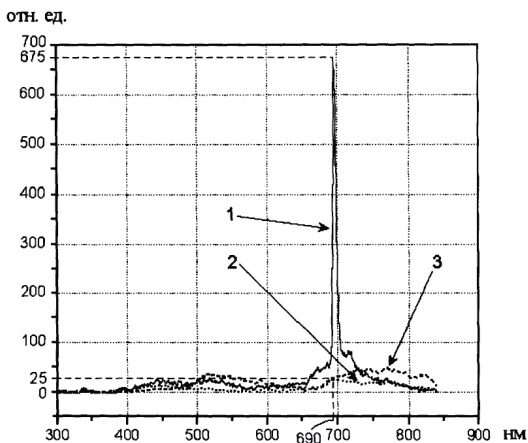
45. Способ получения композиционного керамического материала, основанный на формировании композиции в виде пористой матрицы шликерным литьем из суспензии, включающей связующее, растворитель и порошковый компонент, включающий алюминий, с использованием при формировании композиции также другого компонента, включающего магний и кремний, и окончательной термообработке полученной композиции при температуре, находящейся в диапазоне, верхний предел которого равен 1650°C, отличающийся тем, что в качестве компонента суспензии, включающего алюминий, используют нанопорошок с размерами частиц 5–60 нм, представляющий собой или оксид алюминия, или твердый раствор магния в оксиде алюминия, шликерное литье из суспензии осуществляют с достижением относительной плотности пористой матрицы 0,2–0,7, осуществляют пропитку пористой матрицы другим компонентом, в качестве которого взят жидкий материал, содержащий ионы магния и кремния, сушат пропитанную матрицу при температуре, меньшей температуры кипения жидкой составляющей указанного жидкого материала, операции пропитки и сушки повторяют до достижения заданной концентрации вводимой добавки магния и кремния в пределах 1–40 вес. % от общего конечного веса пористой матрицы, осуществляют промежуточную термообработку пропитанной и высушенной матрицы при температуре 200–800°C, предпочтительно 400–500°C, с выдержкой 1–180 мин, предпочтительно 30–40 мин, наконец ведут окончательную термообработку полученной композиции в атмосфере азота или аргона до достижения относительной плотности не менее 0,6, при этом нижний предел диапазона темпера-

тур выбран, равным 1200°C, а нижний и верхний пределы диапазона времени термообработки выбраны, равными соответственно 0,1 мин и 200 ч.

46. Способ получения композиционного керамического материала по п.45, отличающийся тем, что после промежуточной термообработки пропитанной и высушенной матрицы осуществляют ее дополнительное прессование с достижением относительной плотности 0,3–0,9.

47. Способ получения композиционного керамического материала по п.45 или 46, отличающийся тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит магнийорганическое соединение вида RMgHal , где R – органический радикал, например этил, или бутил, или пропил, Hal – это хлор, или бром, или йод, при мольном соотношении: $\text{R:Mg:Hal} = 1:1:1$, а другая из указанных составляющих содержит метилтриэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{SiCH}_3$, или тетраэтоксисилан $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$, или тетраметилдисилоксан $(\text{CH}_3)_2\text{HSiOSiH}(\text{CH}_3)_2$, или любое весовое сочетание любых двух из указанных трех соединений, или любое весовое сочетание трех из указанных соединений.

48. Способ получения композиционного керамического материала по п.45 или 46, отличающийся тем, что в качестве жидкого материала, содержащего ионы магния и кремния, используется смесь двух жидких составляющих, содержание любой из которых может находиться в пределах от 0,1 до 99,9 вес. %, а другой - все остальное, одна из указанных составляющих содержит растворы, содержащие магний, например нитрат магния, или хлорид магния, или любое весовое сочетание двух из указанных растворов, а другая из указанных составляющих содержит жидкое стекло $(\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_3)_n$.



Фиг. 1

Патент № 2399928 РФ. Способ возбуждения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции детекторов ионизирующих излучений на основе оксида алюминия / И. И. Мильман, А. В. Кружалов, Е. Н. Литовченко, Е. В. Моисейкин, И. Г. Ревков, С. В. Соловьев, А. И. Сюрдо. Заявл. 23.03.2009; опубл. 20.09.2010. Бюл. № 26.

Реферат

Изобретение относится к способам возбуждения дозиметрического сигнала в оптически стимулированной люминесцентной дозиметрии ионизирующих излучений и может быть использовано для повышения надежности, точности и достоверности метода и проводимых с его помощью измерений. Способ возбуждения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции детекторов ионизирующих излучений на основе оксида алюминия, включающий помещение детектора в светонепроницаемый корпус между расположенным в нем источником оптической стимуляции, выполненным в виде светоизлучающего диода, и разделительным оптическим фильтром на расстоянии 1-2 мм от их поверхностей, при этом стимуляцию осуществляют в течение 30-50 с излучением светоизлучающего диода с непрерывным спектром в диапазоне 450-900 нм. Технический результат - сокращение времени считывания, повышение чувствительности, точности, надежности и достоверности измерений доз, а также эффективное опустошение дозиметрических ловушек в детекторах ТЛД-500К перед их применением в ТЛД дозиметрии, заменяющее термообработку детекторов.

Описание изобретения

Предложенное изобретение относится к способам для измерения дозиметрического сигнала в оптически стимулированной люминесцентной дозиметрии ионизирующих излучений и может быть использовано для повышения надежности, точности и достоверности проводимых с его помощью измерений. Задачей изобретения является сокращение времени измерения сигнала оптически стимулированной люминесценции, повышение точности, надежности и достоверности измерений доз за счет увеличения эффективности оптической стимуляции.

В последние годы оптически стимулированная люминесценция (ОСЛ) становится все более популярным методом регистрации ионизирующих излучений в области науки, техники, медицины и космических исследований. Физические и аппаратные аспекты ОСЛ активно развиваются в ведущих дозиметрических лабораториях мира (T.Hashimoto, T.Nakagawa, D-G. Hong and M.Takano. An Automated Sistem for Red/Blue Thermoluminescence and Optically Stimulated Luminescence Measurement. Journ. of Nuclear Science and Tecnology, Vol.39, No1. pp.108-109 (2002); L.Botter-Jensen, S.W.S.McKeever A.G.Wintle. Optically Stimulated Luminescence Dosimetry. Elsevier Science B.V. 355 - P, (2003); N.J.M. Le Masson. Development of Optically Stimulated Luminescent Materials for Personal Fast Neutron Dosimetry. Delft University Press. 168 - P, (2003); G.O.Sawakuchi, E.G.Yukihara, S.W.S.McKeever, E.R.Benton. Overlap of Heavy Charged Particle Tracks and the Change in Shape of Optically Stimulated Luminescence Curves of Al₂O₃:C Dosimeters. Radiation Measurements. 43, pp.194-198 (2008); J.M.Edmund, C.E.Andersen, S.Greilich, G.O.Sawakuchi, E.G.Yukihara, M.Jain, W.Hajdas, S.Matsson. Optically Stimulated Luminescence from Al₂O₃: C Irradiated with 10-60 MeV protons. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. Vol.580, N 1, 21, pp.210-213 (2007); S.D.Miller, L.E.Smith, J.R.Skorpic. Apparatus and methods for OSL-based, remote radiation monitoring and spectrometry. USA Patent 7009181, 03.07.2006; M.Akselrod, C.R.Yoder, G.Akselrod. Detection of Neutrons and heavy charged particles. USA Patent 7141804, 11.28.2006).

В качестве основных преимуществ ОСЛ дозиметрии при сравнении ее с традиционной термолюминесцентной (ТЛ) считают отсутствие необходимости нагрева детекторов и связанных с ним проблем: обеспечение разнообразных и воспроизводимых законов изменения температуры, термическое тушение люминесценции, приводящее к зависимости выхода ТЛ от скорости нагрева, тепловое излучение нагретых элементов блока детектирования.

В современной отечественной и зарубежной практике ОСЛ-дозиметрии преобладающее распространение получили детекторы на основе анион-дефектных кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Детекторы разработаны для использования в термолюминесцентной дозиметрии и имеют коммерческое обозначение ТЛД-500К (ТУ 2655-006-02069208-95; Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования. Методические указания МУ 2.6.1.25-2000. Москва, 2000, с.50; Dosimeter Materials, Harshow TLD Model 8800, Bicron Ne, рекламный проспект), но благодаря своим уникальным свойствам оказались максимально приемлемыми и в новом применении.

В основе метода ОСЛ-дозиметрии лежит оптическая ионизация (стимуляция) уровней захвата носителей заряда, заполненных при облучении ионизирующей радиацией, и регистрация люминесценции, обусловленной рекомбинацией освобожденных носителей на центрах люминесценции. Выход ОСЛ оказывается пропорциональным поглощенной дозе излучения, интенсивности и длине волны стимулирующего света.

Таким образом, эффективность оптической стимуляции, включающая формирование светового потока на поверхности облученного ионизирующим излучением детектора с максимальной интенсивностью и оптимальной длиной волны, является определяющим фактором для повышения точности, надежности, достоверности и сокращения времени проводимых измерений дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции.

Из уровня техники известны способы возбуждения дозиметрического сигнала ОСЛ, обобщенные в литературных источниках, приведенных выше. В них в качестве источников света используются лампы накаливания, галогенные, ксеноновые или ртутные лампы. Наибольшее распространение для этой цели получило излучение лазеров и полупроводниковых светоизлучающих диодов. Такие источники стимуляции компактны и обеспечивают необходимую интенсивность светового потока.

Отделение сигнала ОСЛ от возбуждающего производят с помощью селективных оптических фильтров или временной селекции с применением импульсного возбуждения, при котором сигнал ОСЛ регистрируется во временных интервалах между возбуждающими импульсами света (McKeever et. al. Patent 5892234 USA. Apr. 6, 1999). В качестве приемника сигнала ОСЛ используют фотоэлектронные умножители.

На фиг.1, 2 и 3 приведены типичные способы измерения ОСЛ. Как видно из этих чертежей в качестве источников стимулирующего света используют ксеноновые или ртутные лампы (фиг.2) или светоизлучающие диоды (фиг.1 и 3). В способе возбуждения сигнала ОСЛ, схематически изображенном на фиг.3 (S.Y.Lee, K.J.Lee. Development of a Personal Dosimetry System Based on Optically Stimulated Luminescence of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ for Mixed Radiation Fields. Applied Radiation and Isotopes. 54 (2001), pp.675-685), в качестве детектора ионизирующих излучений используется анион-дефектный корунд $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (разработан в России и известен в иностранной и отечественной литературе как $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ TLD-500K), возбуждение ОСЛ осуществлялось 28 светоизлучающими диодами ($\lambda = 470$ нм, $\Delta\lambda = 30$ нм, $I_{\text{max}} = 1800$ мКд), расположенными по окружностям в два ряда по 14 диодов в каждом.

В ОСЛ дозиметрической системе, разработанной в США на основе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ для использования в радиационной онкологии и аварийной дозиметрии (S.D.Miller, M.K.Murphy et. al. Technical Performance of the luxel $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ optically stimulated luminescence dosimeter element at radiation oncology and nuclear accident dose levels. Radiation

Protection Dosimetry (2006), N 12. P. 1–8), для возбуждения люминесцентного сигнала используется кластер из 20 светоизлучающих диодов. Особенностью этого способа возбуждения сигнала ОСЛ является то, что стимуляция производится зеленым светом с длиной волны 515 нм. В качестве источника стимулирующего света, наряду со светоизлучающими диодами, используют 532 нм излучение второй гармоники Nd:YAG или 514 нм линию аргон-ионного лазера.

В недавно разработанной дозиметрической системе с использованием детектора $Al_2O_3:C$ предусмотрена возможность использовать для раздельного возбуждения ОСЛ излучениями сборок светоизлучающих диодов с длинами волн 470 или 530 нм (M.S.Kulkarni, D.R.Mishra, D.N.Sharma. A versatile integrated system for thermoluminescence and optically stimulated luminescence measurements. Nucl. Instr. and Meth. In Phys. Res. B (2007), doi:10.1016/j.nimb.2007.05.013; G.O.Sawakuchi et. al. Overlap of heavy charged particle tracks and the change in shape of optically stimulated luminescence curves of $Al_2O_3:C$ dosimeters. Radiat. Meas. 43. 2008. P. 194–198).

Для возбуждения ОСЛ в лабораторных и промышленных дозиметрических системах, помимо голубого (470 нм) или зеленого света (530 нм), применяют светоизлучающие диоды инфракрасного диапазона длин волн (890 нм в пике эмиссии) (T.Hashimoto et. al. An Automated system for both red/blue thermoluminescence and optically stimulated luminescence measurement. J. of Nucl. Science and Technology, Vol.39, N 1. P.108-109, 2002; L.Botter-Jensen. Development of Optically Stimulated Luminescence Techniques using Natural Minerals and Ceramics, and their Application to Retrospective Dosimetry. Riso National Laboratory, Roskilde. Riso-R-1211 (EN) 2000).

Анализ примеров и литературных источников, приведенных в их описании, показывает, что при выборе способа возбуждения ОСЛ предпочтение отдается светоизлучающим диодным источникам с длинами волн 470, 530 и 890 нм. Такие источники стабильны, компактны, легко управляемы и способны создавать необходимую мощность излучения. Недостатком применения описанных способов является то, что возбуждение ОСЛ с помощью светоизлучающих диодов осуществляется только на одной из фиксированных длин волн, определяемой типом диода.

Другим недостатком известных способов является то, что стимулирующее излучение падает на поверхность детектора, обращенную в сторону фотоприемника под углом 50–60°, из-за чего детектор удален от входного окна фотоприемника на расстояние не менее 40–50 мм. Поскольку интенсивность ОСЛ прямо связана с интенсивностью стимулирующего света и влияет на чувствительность всей системы, для компенсации потерь в интенсивности стимулирующего излучения за счет наклонного падения и отражения части светового потока от поверхности детектора увеличивают мощность источника стимулирующего света, например, путем использования в системе стимуляции нескольких десятков светоизлучающих диодов.

Последний из перечисленных недостатков устраняется в наиболее близком по технической сущности и достигаемому результату способе возбуждения ОСЛ, принятом за прототип, используемом в устройстве блока измерения ОСЛ (патент 2310889 РФ от 20.11.2007 «Устройство для измерения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции» / И.И.Мильман, С.В.Никифоров и др.). Положительный эффект достигается путем того, что детектор располагается между источником стимуляции и разделительным оптическим фильтром с фотоприемником на расстоянии 1–2 мм. Однако источником стимуляции, как и в описанных выше аналогах, в способе, принятом за прототип, является светоизлучающий диод с длиной волны 470 нм.

Из приведенных выше примеров следует, что известные способы возбуждения накопленного дозиметрического сигнала ОСЛ используют монохроматические излучения диодных или лазерных источников, а для повышения надежности, точности и до-

стоверности проведения измерений увеличивают их мощность в узком спектральном диапазоне.

Общим для всех известных способов (аналогов и прототипа) является то, что ни один из них не рассматривает возможность расширения спектрального состава оптической стимуляции люминесценции с сохранением мощности стимулирующего излучения одновременно в нескольких спектральных диапазонах для увеличения скорости и полноты опустошения дозиметрических ловушек с целью улучшения за счет этого таких параметров ОСЛ дозиметрической системы, как сокращение времени считывания информации и увеличение чувствительности.

В основу изобретения положена задача расширения спектрального состава оптической стимуляции люминесценции с сохранением высокой мощности стимулирующего излучения, характерной для светоизлучающих диодов, одновременно в нескольких перекрывающихся спектральных диапазонах для увеличения скорости и полноты опустошения дозиметрических ловушек и улучшения за счет этого параметров ОСЛ дозиметрической системы в целом.

Решение поставленной технической задачи достигается тем, что:

1. Детектор ионизирующих излучений располагают между источником оптической стимуляции и разделительным оптическим фильтром на расстоянии 1- 2 мм от их поверхностей.

2. Стимуляцию ОСЛ осуществляют светом белого цвета, полученным смешиванием красного, зеленого и голубого цветов.

3. Для несоизмеримо большего срока службы и снижения потребляемой мощности по сравнению с известными источниками белого света в качестве источника стимуляции применяют светоизлучающий белый цвет диод.

Сущность предлагаемого изобретения основана на зависимости выхода ОСЛ от длины волны стимулирующего света, установленной для детекторов на основе на основе $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (В.С.Кортов, И.И.Мильман, Е.В.Моисейкин, С.В.Никифоров. Оптически индуцированные эффекты в термолюминесценции дозиметрических кристаллов анион-дефектного корунда. ЖПС, т.71, №2, с.227-230 (2004); L.Botter-Jensen. Development of Optically Stimulated Luminescence Techniques using Natural Minerals and Ceramics, and their Application to Retrospective Dosimetry. Riso National Laboratory, Roskilde. Riso-R-1211 (EN) 2000), приведенной на фиг.5, кривая 1. Видно, что максимальный выход ОСЛ достигается при стимуляции оптическим излучением с длиной волны около 470 нм, с ростом длины волны выход ОСЛ плавно снижается, оставаясь измеряемым вплоть до инфракрасного диапазона длин волн. В соответствии с зависимостью выхода ОСЛ от длины волны стимулирующего света в способах возбуждения ОСЛ, описанных в аналогах и прототипе, выбраны диапазоны стимулирующего света, схематично изображенные на фиг.5 кривыми 2, 3 и 4. Видно из этих кривых, что для достижения максимальной эффективности возбуждения ОСЛ, как правило, используют голубое (≈ 470 нм) или зеленое (≈ 530 нм) свечение. Другой особенностью используемых для возбуждения ОСЛ источников, описанных в аналогах и прототипе, светоизлучающих диодов и лазеров, является то, что все они генерируют излучение в очень узких спектральных диапазонах, не превышающих 20-30 нм.

Вид спектральной зависимости выхода ОСЛ (фиг.5, кривая 1) обусловлен распределением по энергии оптически активных ловушек носителей заряда в зоне проводимости кристалла $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$. Оптическая глубина залегания этих ловушек простирается от 1,4 (425 нм) до 3 (900 нм) эВ. Каждая ловушка обладает своим сечением ионизации, то есть спектральной чувствительностью к стимулирующему свету. Таким образом, для каждой ловушки существует свой оптимальный диапазон длин волн, при котором ее опустошение происходит с наибольшей скоростью и полнотой. При несовпадении энергии стимулирующего кванта с оптической глубиной залегания ловушки опустошения

происходит за более длительный период стимуляции и требует значительно большей интенсивности стимулирующего света.

В способах, принятых за аналоги и прототипе, используются узкополосные источники стимулирующего света (кривые 2, 3 и 4, фиг.5) и, следовательно, оптимальные условия для ионизации создаются лишь для сравнительно небольшого количества ловушек из их общего распределения. По этой причине способы возбуждения дозиметрического сигнала ОСЛ, принятые за аналоги и прототип, не позволяют существенно сократить время считывания за счет снижения времени стимуляции и повысить чувствительность за счет полноты опустошения большого количества ОСЛ активных ловушек.

Суть предлагаемого способа иллюстрируется данными, представленными на фиг.6. Здесь приведена спектральная зависимость выхода ОСЛ детекторов на основе кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (кривая 1, как и на фиг.5) и вид спектра возбуждения ОСЛ (кривая 2, фиг.6). Сравнение видов спектров возбуждения фиг.5 (аналоги и прототип) и фиг.6 (предлагаемый в изобретении) показывает их принципиальное различие. В первом случае он дискретный, во втором - непрерывный, близкий по форме со спектральной зависимостью выхода ОСЛ для детекторов на основе кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ (кривая 1, фиг.5 и 6).

Таким образом, в предлагаемом способе возбуждения ОСЛ за счет сплошного спектра возбуждения резонансные условия для освобождения захваченных при облучении носителей заряда с последующей их рекомбинацией, сопровождающейся люминесценцией, создаются для гораздо большего числа ловушек, чем при возбуждении ОСЛ в узком спектральном диапазоне. Это позволит существенно сократить время считывания, повысить чувствительность проводимых измерений, упростить конструкцию блока детектирования ОСЛ.

Для практической реализации предлагаемого способа возбуждения ОСЛ использовались образцы стандартных детекторов ТЛД-500К, разработанные в УГТУ-УПИ для термолюминесцентной дозиметрии (ТУ 2655-006-02069208-95), цилиндрической формы высотой 1 и диаметром 5 мм.

Измерения проводились с помощью устройства для регистрации ОСЛ фиг.4 (патент 2310889 РФ от 20.11.2007 «Устройство для измерения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции» / И.И.Мильман, С.В.Никифоров и др.).

ОСЛ детектировалась фотоэлектронным умножителем типа ФЭУ-142, максимум спектральной чувствительности которого близок к спектральному составу люминесценции детекторов ТЛД-500К (330-420 нм).

Для отделения стимулирующего света от излучения люминесценции между детектором и ФЭУ устанавливался стандартный стеклянный оптический фильтр УФС-2.

Источником оптической стимуляции служил светонизлучающий диод КА-1010PW9AZC фирмы Kingbright (основа - InGaN; цвет свечения - белый; интенсивность светового потока - 10 кд; световой поток - 30 лм). Угловое распределение излучения диода составляло 120° . Выбранная геометрия стимуляции позволяла сконцентрировать весь поток стимулирующего света в плоскости детектора, обращенной в сторону источника стимулирующего света. Спектр оптического излучения выбранного источника, измеренный с помощью монохроматора МСД-1, снабженного фотоприемником ФЭУ-106, приведен на фиг.5, кривая 2.

Для настройки тракта регистрации применялся радиоизотопный эталон яркости типа ЭЯ-1 с длиной волны излучения 420 нм. Облучение детекторов производилось β -излучением $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ источника, обеспечивающим мощность дозы в месте расположения образца 32 мГр/мин.

Полнота опустошения ОСЛ – оптически активных ловушек при стимуляции по предлагаемому способу – определялась по «остаточной» термолюминесценции (ТЛ), по-

скольку в обоих этих процессах участвуют одни и те же ловушки. В первом случае они опустошаются под воздействием света, во втором – температуры.

Параметры ОСЛ и ТЛ (интенсивность в пике или площадь под кривой затухания), полученные по предлагаемому способу возбуждения, сравнивались с аналогичными при возбуждении монохроматическим стимулирующим светом, используемым в аналогах и прототипе. Для проведения такого сравнения интенсивность 470 нм компоненты в белом свете выравнивалась с интенсивностью монохроматического излучения светоизлучающего диода той же длины волны с помощью питающего напряжения. В этом случае все отличия в параметрах ОСЛ и ТЛ могут быть корректно отнесены к различиям в спектрах возбуждения, используемых в предлагаемом способе, его аналогах и прототипе.

Экспериментальная проверка предлагаемого способа возбуждения ОСЛ показала, что детекторы, облученные разными дозами β -излучения, при воздействии стимулирующего света с полосой длин волн 450-900 нм люминесцируют в полосе 420 нм с затуханием во времени по закону, близкому к экспоненциальному, с постоянной времени около 10 сек. Для способа возбуждения, принятого за прототип, эта величина составляла около 70 сек. Выход ОСЛ и связанная с ним доза облучения рассчитывались по максимуму сигнала в начальный момент времени или интегрированием кривых затухания за 30 с, учитывая, что стимуляцию осуществляют в течение 30-50 с излучением светоизлучающего диода с непрерывным спектром в диапазоне 450-900 нм.

Измерение «остаточной» ТЛ после предварительного обесцвечивания экспонированного детектора излучением в полосе длин волн 425-900 нм показало, что эффективность опустошения дозиметрических ловушек в 3 раза выше, чем при обесцвечивании узкополосным светом при прочих равных условиях.

Результаты практической реализации предлагаемого способа возбуждения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции детекторов ионизирующих излучений ТЛД-500К на основе анион-дефектных монокристаллов α - Al_2O_3 :С иллюстрируются представленными ниже фигурами. На фиг.7 приведена кривая затухания дозиметрического сигнала образцов детекторов ТЛД-500К, полученная при стимуляции ОСЛ по предлагаемому способу, а на фиг.8 по способу, принятому за прототип. В этих измерениях детекторы облучались и измерялись в одинаковых условиях. Результаты сравнения данных фиг.7 и 8 показывают преимущества предлагаемого метода возбуждения ОСЛ перед описанными в аналогах и прототипе. Главные из этих преимуществ перечисляются ниже.

1. Более чем 30-кратное увеличение амплитуды сигнала.

2. Приблизительно 6-кратное сокращение времени стимуляции и, соответственно, времени считывания дозиметрической информации.

Приведенные выше количественные показатели положительного эффекта при использовании предлагаемого способа возбуждения дозиметрического сигнала ОСЛ позволяют повысить надежность, точность и достоверность проведения измерений по сравнению со способами, описанными в аналогах, и способом, принятым за прототип.

Дополнительный эффект, связанный со скоростью и полным опустошением дозиметрических ловушек, обнаруженный при разработке предлагаемого способа, может быть полезным в ТЛД дозиметрии с применением детекторов ТЛД-500К. Поскольку, как можно считать в первом приближении, оба явления ОСЛ и ТЛ связаны с одними и теми же ловушками, а отличаются только способами их опустошения, при подготовке ТЛ детекторов к экспозициям их «обнуление» можно производить не нагревом, что сокращает их ресурс и изменяет чувствительность, а оптическим излучением, описанным в предлагаемом изобретении возбуждения ОСЛ. Экспериментальная проверка показала полное отсутствие ТЛ сигнала в облученных детекторах ТЛД-500К после обработки в режиме предлагаемого способа возбуждения ОСЛ.

Фиг.1. Способ возбуждения дозиметрического сигнала ОСЛ узким спектром инфракрасного излучения светоизлучающих диодов. Система оптической стимуляции вынесена за пределы светонепроницаемого корпуса, поток стимулирующего света переносится к детектору линзовой оптикой и направлен под углом поверхности детектора, обращенной в сторону разделительного оптического фильтра и фотоприемника.

Фиг.2. Способ возбуждения дозиметрического сигнала ОСЛ линейчатым спектром излучения ртутной или ксеноновой лампы. Система оптической стимуляции вынесена за пределы светонепроницаемого корпуса, поток стимулирующего света переносится к детектору с помощью световода, линзовой оптикой и направлен под углом поверхности детектора, обращенной в сторону разделительного оптического фильтра и фотоприемника.

Фиг.3. Способ возбуждения дозиметрического сигнала ОСЛ узким спектром излучения сборки (несколько десятков единиц) светоизлучающих диодов синего или зеленого диапазонов длин волн. Система оптической стимуляции размещена в светонепроницаемом корпусе, поток стимулирующего света переносится к детектору с помощью линзовой оптики, направлен под углом к поверхности детектора, противоположной к обращенной в сторону разделительного оптического фильтра и фотоприемника.

Фиг.4. Способ возбуждения дозиметрического сигнала ОСЛ узким спектром излучения одного светоизлучающего диода синего (470 нм, $\Delta\lambda = 30$ нм) диапазона длин волн, принятый за прототип. Система оптической стимуляции размещена в светонепроницаемом корпусе (1). Диод (3) снабжен призмой Френеля (6), его излучение направлено под прямым углом к поверхности детектора (2), противоположной по отношению к поверхности детектора, обращенной в сторону разделительного оптического фильтра (5) и фотоприемника (4).

Фиг.5. Спектр возбуждения ОСЛ детекторов ТЛД-500К на основе кристаллов анион-дефектного корунда $Al_2O_3:C$ (1). Спектральные характеристики возбуждения ОСЛ в способах, принятых за аналоги и прототип (2, 3 и 4).

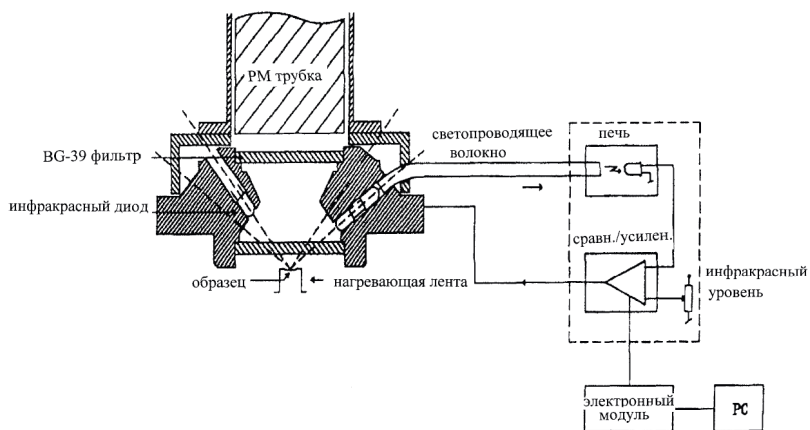
Фиг.6. Спектр возбуждения ОСЛ детекторов ТЛД-500К на основе кристаллов анион-дефектного корунда $Al_2O_3:C$ (1). Спектральная характеристика возбуждения ОСЛ в предлагаемом изобретении (2).

Фиг.7. ОСЛ дозиметрический сигнал детекторов ТЛД-500К, полученный при стимуляции по предлагаемому способу. Суммарное число импульсов, полученное интегрированием кривой затухания ОСЛ за 40 с, 790164.

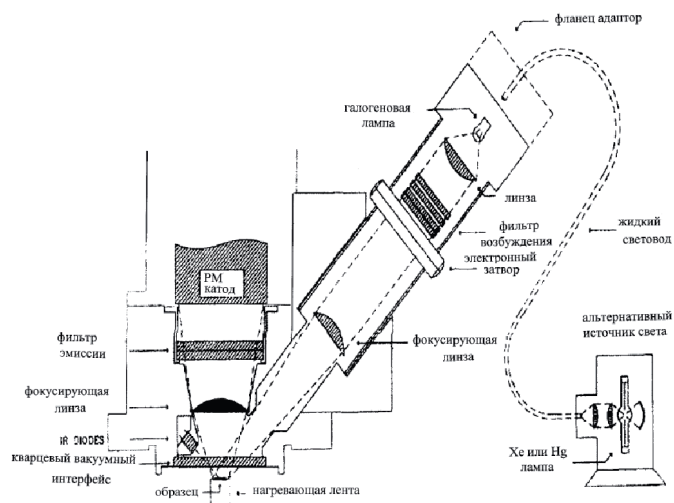
Фиг.8. ОСЛ дозиметрический сигнал детекторов ТЛД-500К, полученный при стимуляции по способу, принятому за прототип. Суммарное число импульсов, полученное интегрированием кривой затухания ОСЛ за 300 с, 292483.

Формула изобретения

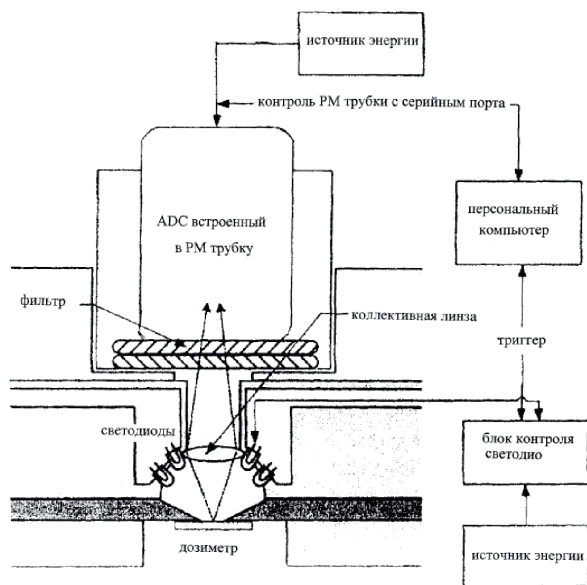
Способ возбуждения дозиметрического сигнала оптически стимулированной люминесценции детекторов ионизирующих излучений на основе оксида алюминия, включающий помещение детектора в светонепроницаемый корпус между расположенным в нем источником оптической стимуляции, выполненным в виде светоизлучающего диода, и разделительным оптическим фильтром на расстоянии 1–2 мм от их поверхностей, отличающийся тем, что стимуляцию осуществляют в течение 30–50 с излучением светоизлучающего диода с непрерывным спектром в диапазоне 450–900 нм.



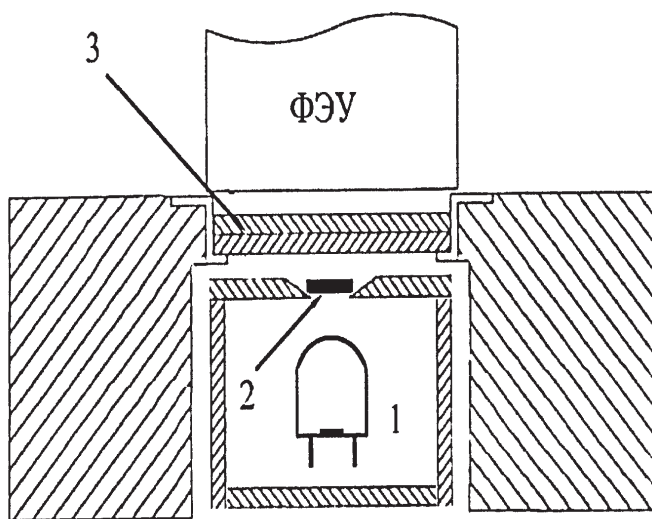
Фиг.1



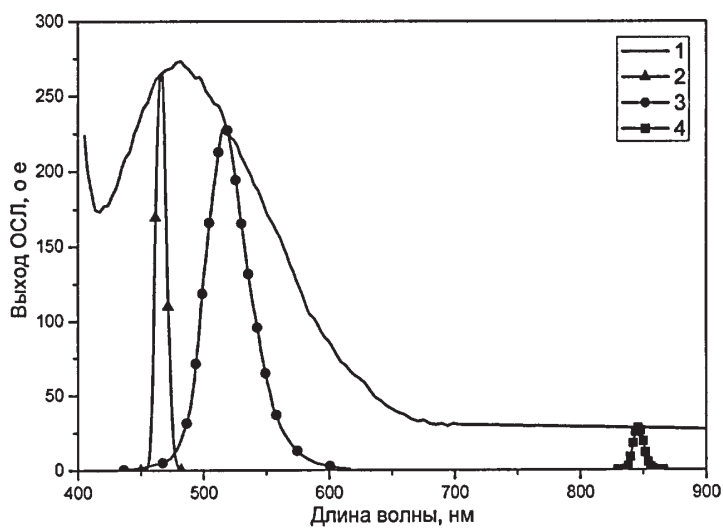
Фиг.2



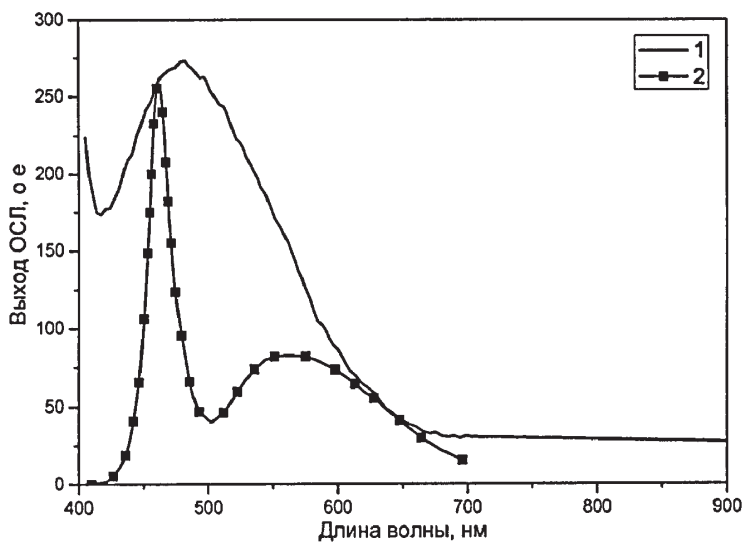
Фиг.3



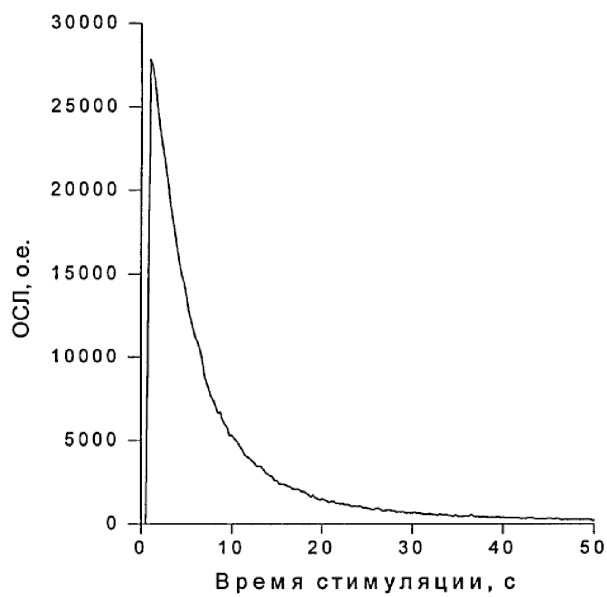
Фиг.4



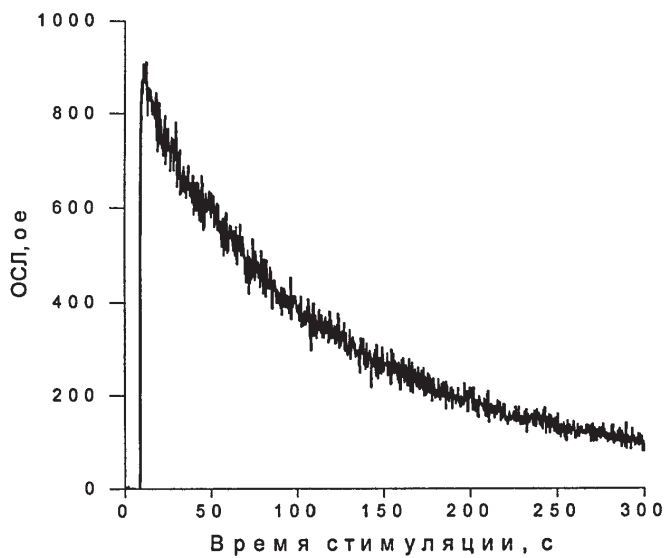
Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7



Фиг.8

Реферат

Изобретение относится к фотоприемным устройствам для черенковских РИЧ-детекторов (RICH-Ring Imaging Cherenkov), регистрирующих кольцевое черенковское излучение, и может быть использовано в экспериментах в области физики элементарных частиц высоких энергий (ионов, каонов и протонов) для определения их зарядов и скоростей в широком диапазоне их импульсов и для их идентификации. Технический результат - детектирование кольцевого черенковского излучения в сильных магнитных полях, повышение пространственного разрешения. Фотоприемное устройство для детектирования кольцевого черенковского излучения, включающее блок фотоэлектронных умножителей ФЭУ и блок обработки информации, дополнительно содержит на своем входе блок волоконных световодов, располагаемых до блока ФЭУ в плоскости регистрации черенковского излучения в виде полуколец, концы которых для каждого полукольца волоконного световода выведены из мишенной зоны ускорителя за пределы действия сильных магнитных полей и соединяются через оптический контакт с блоком фотоэлектронных умножителей, сигналы с которых поступают на блок обработки информации. Блок обработки информации с помощью схемы пространственной селекции позволяет определить радиус кольца черенковского излучения и в конечном счете обеспечивает идентификацию элементарных частиц, определение их зарядов и скоростей.

Описание изобретения

Изобретение относится к фотоприемным устройствам для черенковских РИЧ-детекторов (RICH-Ring Imaging Cherenkov), регистрирующих кольцевое черенковское излучение и может быть использовано в экспериментах в области физики элементарных частиц высоких энергий (ионов, каонов и протонов) для определения их зарядов и скоростей в широком диапазоне их импульсов для их идентификации.

В большинстве РИЧ-детекторов регистрацию фотонов осуществляют с помощью фотоприемных устройств на основе многопроволочных пропорциональных камер, обеспечивающих наибольшую площадь фотоприемников и способных работать в довольно сильных магнитных полях. Однако применение многопроволочных пропорциональных камер связано с целым рядом трудностей. По этой причине все большее применение в фотоприемных устройствах для РИЧ-детекторов находят фотоэлектронные умножители (ФЭУ) (Ю.К. Акимов. Фотонные методы регистрации излучения. Дубна, ОИЯИ, 2006. – 281 с.).

Известно фотоприемное устройство для черенковского РИЧ-детектора, включающее в себя ФЭУ (Т. Matsumoto, S. Korpar, I. Adachi et.al // Nucl. Instr. Meth. A. 2004. V. 518. P. 582; Ю.К. Акимов. Фотонные методы регистрации излучения. Дубна, ОИЯИ, 2006. – 281 с.). Однако, несмотря на то, что в известном фотоприемнике использован многоканальный ФЭУ типа R 5900-M 16, отношение фоточувствительной площади ко всей площади, перекрываемой фотоприемником невелико и составляет всего 36%. При использовании многоканального ФЭУ панельного типа, 64 анодный Hamamatsu H 8500 ($S = 5 \times 5$ см), отношение фоточувствительной площади ко всей площади, перекрываемой фотоприемником, хотя и возрастает до 84%, однако остается недостаточно высоким. Основным недостатком фотоприемников для черенковских детекторов, использующих ФЭУ, является то, что они не могут работать в сильном магнитном поле (1,4 Тл).

Известно применение в черенковском РИЧ-детекторе в качестве фотоприемного устройства матрицы из ФЭУ (I. Adam, R. Aleksan, D. Aston, et. al // Nucl. Instr. Meth. A. 1999. V. 433. P. 121). Недостатком такого фотоприемника является невысокое отношение

фоточувствительной площади ко всей площади, перекрываемой фотоприемником, а также невозможность его работы в сильных магнитных полях.

Известно фотоприемное устройство для черенковского РИЧ – детектора, представляющего собой матрицу из ФЭУ площадью 1 м^2 , собранной из более чем 1100 ФЭУ (матрица из $33 \times 32 = 1056$ штук ФЭУ) с диаметром фотокатода 25 мм и внешним диаметром 32 мм. Входные окна ФЭУ изготовлены из стекол, которые поглощают значительную долю УФ-света, пропускают свет лишь в диапазоне 300 – 600 нм, что приводит к уменьшению числа фотонов, регистрируемым РИЧ – детектором (Н.И. Старков. / Анализ изображений RICH – детектора с помощью нейронной сети. // Препринт. Физический институт им. П.Н. Лебедева. РАН. М., 2003. 14 с., К.В. Александров и др. / Моделирование RICH-детектора AMS и реконструкция кинематических параметров регистрируемых частиц // Математическое моделирование. 1997. т. 9, № 11, с. 33-45). Кроме того, для известного фотоприемника в виде матрицы из ФЭУ отношение фоточувствительной площади ко всей площади, перекрываемой фотоприемником не превышает 65 – 70%. Дополнительным недостатком известного фотоприемника является то, что он не может работать в сильных магнитных полях, нарушающих функционирование ФЭУ.

Наиболее близким к заявленному фотоприемному устройству для черенковского детектора является известное фотоприемное устройство, применяемое для сбора информации в лабораториях ускорительной техники, содержащие кроме блока фотоэлектронных умножителей и блока обработки информации, сцинтилляционные волокна, включенные в свинцовую матрицу (D. Acostaetal, Lateral Shower Profiles In a Lead Scintillating-Fibep Calorimeter, NIM A. 316 (1992). P. 184; Клаус Группен. Детекторы элементарных частиц. Справочное издание. Сибирский хронограф. Новосибирск. 1999. 408 с). В этом случае считывание информации сильно упрощается, так как волокна могут быть сильно изогнуты без потерь света и обеспечивать высокое пространственное разрешение. Однако такое фотоприемное устройство, пригодное для регистрации проникающего излучения непригодно для эффективного детектирования черенковского светового излучения. Кроме того, оно излишне усложнено и дорого, поскольку в нем используются не простые дешевые волоконные световоды, а сцинтилляционные волокна, да еще включенные в свинцовую матрицу, непрозрачную для черенковского светового излучения.

Задачей настоящего изобретения является создание фотоприемного устройства для детектирования кольцевого черенковского излучения, пригодного для работы в магнитных полях и обладающего высоким пространственным разрешением.

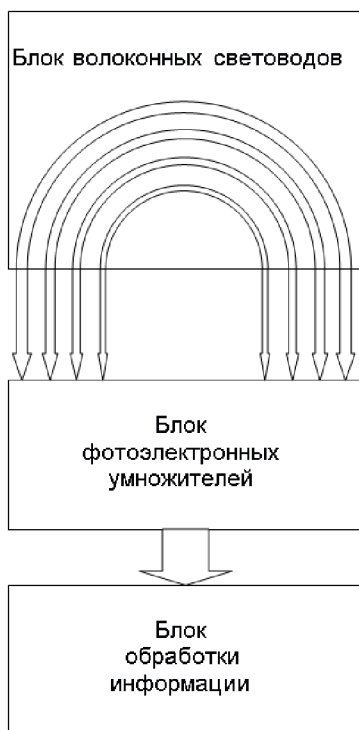
Заявляемое устройство, фиг. №1 содержит в качестве главного сенсора блок волоконных световодов, а также блок фотоэлектронных умножителей и блок обработки информации. Блок волоконных световодов состоит из десятков-сотен стекловолокон (или кристалловолокон), закрепленных на близком расстоянии друг относительно друга или прижатых друг к другу на площади в несколько сотен-тысяч см^2 , причем концы каждого из волокон выведены за пределы и мишенной камеры, и за пределы магнитного поля ускорителя, в конечном счете оба конца световода оказываются подключенными к одному и тому же ФЭУ из блока фотоэлектронных умножителей. Блок электронной обработки информации содержит схему пространственной селекции для определения радиуса кольца черенковского излучения.

Сущность изобретения заключается в том, что фотоприимное устройство для детектирования кольцевого черенковского излучения, включающее блок фотоэлектронных умножителей ФЭУ и блок обработки информации, дополнительно содержит на своем входе блок волоконных световодов, располагаемых до блока ФЭУ в плоскости регистрации черенковского излучения в виде полуколец, концы которых для каждого полукольца волоконного световода выведены из мишенной зоны ускорителя за пределы действия сильных магнитных полей и сочетаются через оптический контакт с блоком фотоэлектронных умножителей, сигналы с которых поступают на блок обработки информации.

Устройство работает следующим образом. Кольцевое черенковское излучение регистрируется блоком волоконных световодов, состоящим из расположенных близко друг к другу оптоволокон диаметром 0,2-1 мм (в зависимости от требуемого пространственного разрешения), изогнутых в форме полуколец и занимающих площадь, необходимую для захвата полукольца черенковского излучения. Волоконные световоды, сформированные за пределами мишенного пространства в виде достаточно длинного оптоволоконного кабеля, передают оптические сигналы, сформированные черенковским излучением, на блок фотоэлектронных умножителей, состоящих из обычных или многоканальных ФЭУ. С блока ФЭУ сигналы поступают на блок обработки информации, который с помощью схемы пространственной селекции позволяет определить радиус кольца черенковского излучения и в конечном счете обеспечивает идентификацию элементарных частиц, определение их зарядов и скоростей.

Формула изобретения

Фотоприемное устройство для детектирования кольцевого черенковского излучения, содержащее блок фотоэлектронных умножителей ФЭУ и блок обработки информации, отличающееся тем, что оно дополнительно содержит блок волоконных световодов, располагаемых до блока ФЭУ в плоскости регистрации черенковского излучения в виде полуколец, причем оба конца каждого волоконного световода, выведенные из мишенной зоны ускорителя, через оптический контакт сочетаются с блоком фотоэлектронных умножителей, сигналы с которых поступают на блок обработки информации.



Фиг. 1

Патент № 2412453 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов / П. С. Маклаков, Б. В. Шульгин, С. В. Кортв, А. Н. Черепанов, В. В. Пиличев, А. Ю. Дерстуганов, А. В. Семенова. Заявл. 02.04.2009; опубл. 20.02.2011. Бюл. № 5.

Реферат

Использование: для детектирования быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, а также гамма-излучения, для обнаружения делящихся материалов (урана, плутония, калифорния) и изделий из них, для радиационного обследования ядерных субмарин, подлежащих разборке, для решения задач Госатомнадзора и таможенного контроля по радиационному мониторингу, для служб дозиметрической и ядерной безопасности предприятий по переработке ядерного горючего, для служб по предотвращению акций ядерного терроризма.

Сущность изобретения: в устройстве, состоящем из датчика-сцинтиблока, включающего замедлитель нейтронов из водородосодержащего вещества, сцинтиллятор и фотоэлектронный умножитель, и блока электронной обработки сигналов, сцинтиллятор выполнен в виде сборки параллельно расположенных друг другу люминесцентных волокон из чувствительного к тепловым нейтронам материала на основе смешанного оксида гадолиния, иттрия и европия, с одного торца которой в корпусе датчика-сцинтиблока дополнительно расположено светоотражающее зеркало, с другого торца – светособирающая линза, обеспечивающая фокусировку света люминесценции волокон сборки на фотокатоде фотоэлектронного умножителя, а сам волоконный сцинтиллятор расположен частично внутри замедлителя нейтронов из водородосодержащего вещества в форме цилиндра или шестиугольной призмы с диаметром, превышающим диаметр сборки, частично – внутри замедлителя нейтронов из водородосодержащего вещества в форме цилиндра или шестиугольной призмы с диаметром, равным диаметру сборки, и частично – вне замедлителя.

Технический результат: эффективная регистрация как быстрых, так и тепловых нейтронов, а также одновременная регистрации гамма-излучения, сопутствующего нейтронному излучению делящихся материалов.

Описание изобретения

Заявляемое устройство относится к области детектирования быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, а также гамма-излучения. Оно пригодно для использования в стационарных комплексах и системах радиационного контроля, а также в переносных устройствах, предназначенных для обнаружения делящихся материалов (урана, плутония, калифорния и изделий из них), для радиационного обследования ядерных субмарин, подлежащих разборке, для решения задач Госатомнадзора и таможенного контроля по радиационному мониторингу, для служб дозиметрической и ядерной безопасности предприятий по переработке ядерного горючего, для служб по предотвращению акций ядерного терроризма.

Известен селективный детектор нейтронов (Селективный детектор нейтронов. Патент США №3688118, G01T 1/00, 1/20, 1972). Он содержит электронный блок информации и два датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, а другой – только к заряженным частицам. Число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом с датчиков, выделяемым с помощью электронного блока. Однако для датчика, чувствительного одновременно к заряженным частицам и нейтронам, эффективность регистрации нейтронов не может быть высокой. Известный детектор нейтронов не пригоден для одновременной регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, он не является всеволновым детектором нейтронов.

Известен сцинтилляционный детектор СПС-Т4А (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского физико-технического института, 1990). Датчик детектора представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации быстрых нейтронов. Детектор имеет следующие характеристики: длительность сцинтимпульса, создаваемого нейтронами – 8,5 нс; световой выход (УЕСВ по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ – 0,29; максимум спектра люминесценции – 490 нм, диаметр и высота – до 50 мм. Однако такой детектор не пригоден для одновременной регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, он не является всеволновым детектором нейтронов.

Известен сцинтилляционный детектор для измерения нейтронов и гамма-лучей (Патент США №4482808, G01T 3/06, 1984). Детектор содержит датчик-сцинтиблок, в частности сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако известный однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов. Описываемый детектор не обладает функциональными возможностями, необходимыми для одновременной регистрации быстрых и тепловых нейтронов, он не является всеволновым детектором нейтронов.

Известен сцинтилляционный детектор для регистрации ионизирующего излучения (Детектор для регистрации ионизирующего излучения. Патент РФ №2088952. Бюл. №24 от 27.08.1997). Известный детектор содержит датчик-сцинтиблок и блок электронной обработки сигналов. Датчик-сцинтиблок состоит из последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также α -, β -, γ -излучениям, и световода, изготовленного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стилибена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, а также фотоэлектронного умножителя, преобразующего световые вспышки (сцинтилляции) в электрические сигналы. Блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него как от α -, β -, γ -сцинтиллятора $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (длительностью 300 нс), так и от сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов световода (с длительностью сцинтилляций 5-7 нс). Однако данный детектор, будучи чувствительным к быстрым нейтронам, не чувствителен к тепловым нейтронам и не пригоден для их регистрации. Известный сцинтилляционный детектор не является всеволновым детектором нейтронов.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов и гамма-излучения (Сцинтилляционный детектор нейтронного и гамма-излучения. Патент РФ №2189057. Бюл. №25. 10.09.2002). Детектор содержит датчик-сцинтиблок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор, (n , α , γ)-конвертор из карбида или нитрида бора, сцинтилляционный кристалл NaI:Tl и фотоэлектронный умножитель, а также блок электронной обработки информации. Однако такой детектор имеет целый ряд недостатков:

- эффективность фотосбора сцинтилляций, возникающих в пластике от быстрых нейтронов, невысока по целому ряду причин: (а) пластик соприкасается с фотоприёмником (ФЭУ) не всей плоскостью, а только по периферийному кольцу; (б) площадь соприкосновения пластика с окном ФЭУ составляет 30–40% от площади окна, поэтому эффективность фотосъёма не превышает 30–40% от фотосбора в режиме, когда сцинтиллятор соприкасался бы с ФЭУ всем своим рабочим торцом; (в) чехол (n , α , γ)-конвертора из карбида или нитрида бора является светонепроницаемым и часть сцин-

тилляций, возникающих в пластике, поглощается в чехле и не доходит до ФЭУ и, следовательно, не регистрируется;

- стойкость к удару такого детектора понижена, из-за высокой гигроскопичности сцинтилляционного кристалла NaI-Tl;
- блок обработки сигналов известного детектора оказывается сложным из-за необходимости регистрации и обработки 4-х групп сигналов, различающихся по длительности и амплитуде.

Наиболее близким к заявляемому является сцинтилляционный детектор нейтронов на основе пластика и ^6Li -силикатного стекла (Детектор для регистрации ионизирующего излучения. Патент РФ № 2143711. Бюл. №36. 29.12.1999). Известный детектор содержит датчик-сцинтиблок и блок электронной обработки сигналов. В состав датчика-сцинтиблока входят помещенные в единый корпус фотоэлектронный умножитель и три параллельно-последовательно соединенных сцинтиллятора: 1 – входной нейтронный сцинтиллятор, выполненный из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородосодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стилибена (сцинтиллятор с колодцем), играющий одновременно роль входного замедлителя быстрых нейтронов до тепловых энергий; 2 – размещенный в колодце входного сцинтиллятора сцинтилляционный кристалл NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительный к гамма-излучению; 3 – чувствительный к тепловым нейтронам внутренний сцинтиллятор на основе активированного церием ^6Li -силикатного стекла. Блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от двух нейтронно-чувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl. Однако известный детектор имеет целый ряд недостатков:

- эффективность фотосбора сигналов от быстрых нейтронов, возникающих в пластике $(\text{CH})_n$, невысока из-за того, что сигналы, во-первых, поступают на фотоприёмник (ФЭУ) только по периферийному кольцу, обеспечивая фотосъём сцинтилляций на уровне до 30-40% вследствие того, что кристалл NaI:Tl находится в непрозрачном корпусе и экранирует часть светового потока, возникающего в пластике, а во-вторых, вследствие того, что излучение быстрого пластикового сцинтиллятора не непосредственно попадает на ФЭУ, а поступает на него через стекло и частично поглощается в этом стекле, имеющем границу пропускания 350-380 нм, в результате чего может быть потеряно до 32-43% полезной информации;
- пониженная стойкость к ударным нагрузкам, поскольку детектор содержит сцинтилляционный кристалл NaI:Tl, отличающийся высокой гигроскопичностью, что повышает требования к герметизации.

Таким образом, известный детектор, хотя и позволяет обнаруживать как быстрые, так и тепловые нейтроны, не может обеспечить их эффективную регистрацию.

Задачей изобретения является разработка эффективного сцинтилляционного детектора для одновременной регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, а также гамма-излучения.

Предлагаемое устройство – сцинтилляционный детектор – обеспечивает регистрацию с повышенной эффективностью быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов. Блок-схема заявляемого устройства приведена на чертеже. Предлагаемое устройство состоит из датчика-сцинтиблока 1 и блока электронной обработки сигналов 2. В корпусе 3 датчика-сцинтиблока 1 размещен сцинтиллятор, представляющий собой сборку 4 из параллельно расположенных друг другу люминесцентных волокон из чувствительного к тепловым нейтронам материала на основе смешанного оксида гадолиния, иттрия и европия, причем сборка частично расположена внутри замедлителя нейтронов 5 из водородосодержащего вещества в форме цилиндра или шестиугольной призмы с диа-

метром, превышающим диаметр сборки (эта зона обозначена на чертеже символом «Б»), частично – внутри замедлителя нейтронов из водородосодержащего вещества в форме цилиндра или шестиугольной призмы с диаметром равным диаметру сборки (эта зона обозначена на чертеже символом «П»), а частично – вне замедлителя (эта зона обозначена на чертеже символом «Т»). С одного торца сборки волокон в корпусе датчика-сцинтиблока расположено светоотражающее зеркало 6, с другого торца – светособирающая линза 7 и фотоэлектронный умножитель 8 (ФЭУ). Сигналы с датчика-сцинтиблока 1 (конкретно с ФЭУ 8) поступают на блок электронной обработки сигналов 2, обеспечивающий подсчет актов люминесценции внутри волокон и определение плотности потока нейтронов, попадающих в датчик-сцинтиблок.

Сущность изобретения заключается в том, сцинтиллятор датчика-сцинтиблока детектора выполнен в виде сборки 4 параллельно расположенных друг другу люминесцентных волокон из чувствительного к тепловым нейтронам материала на основе смешанного оксида гадолиния, иттрия и европия, с одного торца которой в корпусе датчика-сцинтиблока дополнительно расположено светоотражающее зеркало 6, с другого торца – светособирающая линза 7, обеспечивающая фокусировку света люминесценции волокон сборки 4 на фотокатод фотоэлектронного умножителя 8, а сам волоконный сцинтиллятор расположен частично внутри замедлителя нейтронов 5 из водородосодержащего вещества в форме цилиндра или шестиугольной призмы с диаметром, превышающим диаметр сборки, частично – внутри замедлителя нейтронов 5 из водородосодержащего вещества в форме цилиндра или шестиугольной призмы с диаметром, равным диаметру сборки, и частично – вне замедлителя 5.

Предлагаемое устройство содержит эффективно взаимодействующий с тепловыми нейтронами сцинтиллятор, состоящий из материала на основе смешанного оксида гадолиния, иттрия и европия с химической формулой типа $(\text{Gd}_{1-x-y}\text{Y}_x\text{Eu}_y)_2\text{O}_3$, где $x + y < 1$ (x и y много меньше единицы). Высокая эффективность взаимодействия материала сцинтиллятора с тепловыми нейтронами обусловлена аномально большим сечением радиационного захвата тепловых нейтронов у гадолиния (составляющего основу материала сцинтиллятора): $\sigma_\gamma = 49000$ барн для естественной смеси изотопов, $\sigma_\gamma = 254000$ барн – для изотопа ^{157}Gd . Эти сечения заметно превосходят таковые для наиболее часто используемых для регистрации тепловых нейтронов ядер ^3He , ^6Li и ^{10}B . В результате взаимодействия теплового нейтрона с гадолинием формируется гамма-квант, возбуждающий люминесцентные центры на базе ионов европия, также входящих в состав материала сцинтиллятора. Добавка иттрия обеспечивает более эффективную люминесценцию ионов европия и стабилизирует кубическую структуру сложного оксида $(\text{Gd}_{1-x-y}\text{Y}_x\text{Eu}_y)_2\text{O}_3$. Использование в качестве сцинтиллятора сборки волокон 4 обеспечивает высокий уровень светосбора сцинтилляций. Задаче повышения светосбора служат также устанавливаемое на одном из торцов сборки волокон светоотражающее зеркало 6 и устанавливаемая на другом торце сборки волокон светособирающая линза 7, обеспечивающая фокусировку света люминесценции волокон сборки на фотокатод фотоэлектронного умножителя 8.

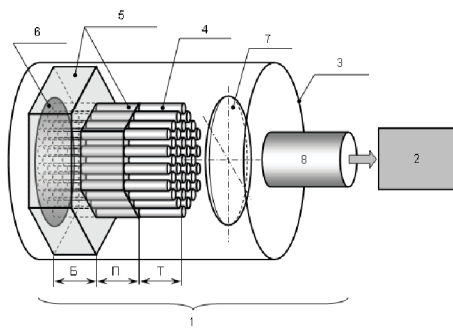
Среди особенностей работы детектора отметим, что люминесцентные материалы, в которых в качестве люминесцентных центров используются ионы европия, обладают красным свечением (около 610 нм), что позволяет эффективно использовать для регистрации люминесценции не только ФЭУ, но и полупроводниковые фоторегистраторы (последнее является дополнительным преимуществом предлагаемого технического решения). Длительное послесвечение ($\tau \approx 2$ мс) этих материалов, предполагает, что фоторегистратор и блок электронной обработки сигналов работают в режиме счета одинофотонных релаксаций. Решение о наличии или отсутствии источника нейтронов принимается на основании контроля изменения скорости счета.

Благодаря замедлителю нейтронов из водородосодержащего вещества в форме цилиндра или шестиугольной призмы с переменным диаметром (на одном участке, обозначенным на чертеже символом «Б», – большим диаметром сборки, а на другом участке, обозначенным на чертеже символом «П», – равным диаметру сборки) обеспечивает эффективное замедление быстрых нейтронов (на участке, обозначенным на чертеже символом «Б») и нейтронов промежуточных энергий (на участке, обозначенным на чертеже символом «П») до тепловых энергий. На участке, обозначенным на чертеже символом «Т», замедления нет. Тем самым обеспечивается регистрация любых типов нейтронов, т. е. обеспечивается «всеголовный» режим работы детектора.

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного детектора нейтронов является его способность регистрировать гамма-излучение, сопутствующее нейтронному излучению делящихся материалов и изделий из них. Такая возможность обусловлена достаточно высокой чувствительностью материала сцинтиллятора на основе сложного оксида гадолиния, иттрия и европия к гамма-излучению делящихся материалов за счет высокого эффективного зарядового номера. Гамма-сцинтилляции имеют практически тот же спектр и длительность, что и сцинтилляции от нейтронов. Они регистрируются блоком электронной обработки сигналов, работающим в счетном режиме и проявляются как добавка к скорости счета от нейтронов. Это повышает обнаружительную способность детектора при поиске делящихся материалов (урана, плутония, калифорния и др.) и изделий из них, поскольку при этом обеспечивается их обнаружение сразу по двум характерным для них излучениям: нейтронному и гамма-излучению.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор нейтронов, состоящий из датчика-сцинтиблока, включающего замедлитель нейтронов из водородосодержащего вещества, сцинтиллятор и фотоэлектронный умножитель, и блока электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что сцинтиллятор выполнен в виде сборки параллельно расположенных друг другу люминесцентных волокон из чувствительного к тепловым нейтронам материала на основе смешанного оксида гадолиния, иттрия и европия, с одного торца которой в корпусе датчика-сцинтиблока дополнительно расположено светоотражающее зеркало, с другого торца – светособирающая линза, обеспечивающая фокусировку света люминесценции волокон сборки на фотокатоде фотоэлектронного умножителя, а сам волоконный сцинтиллятор расположен частично внутри замедлителя нейтронов из водородосодержащего вещества в форме цилиндра или шестиугольной призмы с диаметром, превышающим диаметр сборки, частично – внутри замедлителя нейтронов из водородосодержащего вещества в форме цилиндра или шестиугольной призмы с диаметром, равным диаметру сборки, и частично – вне замедлителя.



Фиг. 1

Паент № 2423333 РФ. Способ обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия / Э. З. Курмаев, Н. В. Гаврилов, Б. В. Шульгин, Д. А. Зацепин, А. И. Кухаренко, С. О. Чолах. Заявл. 18.05.2009, опублик. 10.07.2011. Бюл. №19.

Реферат

Способ обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия, включающий импульсное воздействие на материалы пучка ионов Fe^+ , отличающийся тем, что воздействие осуществляют пучком ионов Fe^+ при плотности тока 8-8,5 мА/см², длительности импульсов 200–600 мкс, энергии ускоренных ионов 25–50 кэВ и флюенсе 10^{17} – $3 \cdot 10^{17}$ см⁻².

Описание изобретения

Изобретение относится к области нанотехнологий, связанных со способами обработки наноразмерных материалов, сохраняющими размеры образующих их наночастиц и увеличивающих прочность наноматериалов, особо со способами обработки поверхности, как керамических наноматериалов, так и компактированных порошкообразных нанокристаллических материалов.

Известен способ радиационно-термической обработки оксидной низкоразмерной керамики состава $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ (см. Ю.М. Анненков и др. «Радиационно-термическое модифицирование циркониевой керамики», журнал «Физика и химия обработки материалов» 1998, №2, с. 18–22), который осуществляют с применением мощного электронного пучка с энергией электронов 1,8 МэВ, длительностью импульсов 500 мкс и частотой следования импульсов 10 – 30 Гц. Обработка циркониевой керамики мощным электронным пучком приводит к существенному улучшению её механических свойств за счет оптимизации фазового состава, а именно, повышения содержания устойчивой тетрагональной фазы в структуре керамики. Однако, для такого способа характерна высокая температура радиационно-термической обработки в пределах 1000 – 1600 °С, поэтому при обработке нанокерамики известным способом в нанокристаллическом материале происходил интенсивный рост зерен за счет высоких температур, и их размер в несколько раз превосходил принятую границу размеров наноматериалов, равную 100 нм.

Известен способ обработки поверхности металлокерамических, TiC, WC, и керамических $\text{ZrO}_2+(6-8)\% \text{Y}_2\text{O}_3$ наноматериалов с использованием импульсных электронных пучков. (Н.Н. Коваль, Ю.Ф. Иванов, Изв.вуз. Физика. 2008. №5. С. 60–70). В известном способе используют пучок электронов диаметром 1-3 см с током до 300А, длительностью импульса 50–200 мкс и частотой повторения до 10 Гц, мощностью 10–100 Дж/см². С помощью такого пучка электронов осуществляют плавление поверхности металлокерамических или керамических наноматериалов. Это позволяет использовать пучок с целью модификации поверхности. Применяемые в этом способе сверхвысокие скорости нагрева (10^8 – 10^{10} К/с) до температур плавления и последующего охлаждения тонкого приповерхностного слоя материала (10^{-7} – 10^{-6} м), весьма малое (10^{-6} – 10^{-3} с) время воздействия высоких температур, формирование предельных градиентов температур (до 10^7 – 10^8 К/м), обеспечивающих охлаждение приповерхностного слоя за счет теплоотвода в основной объем материала со скоростью 10^4 – 10^9 К/с создают условия для эффективной модификации поверхности, однако, в результате применяемого способа размеры первичных зерен керамики, равные 20-40 нм, увеличиваются до субмикронных размеров, превышающих 100 нм. Применение известного способа для обработки и радиационной модификации наноматериалов на основе оксида алюминия в литературе не описано.

Известен способ обработки нанопорошков и получения нанокерамики на основе α -оксида алюминия (В.В. Иванов, С.Ю. Ивин, А.И. Медведев, С.Н. Паранин, В.Р. Хрустов,

А.К.Штольц «Особенности синтеза керамик на основе альфа-оксида алюминия с субмикронной структурой, легированных магнием и титаном», журнал «Неорганические материалы», 2001, т.37, №2, с.248-256), включающий прессование и термическую обработку без приложения статического давления, причем прессование проводят магнитоимпульсным методом (МИМ), обеспечивающим одноосное сжатие при амплитуде используемых импульсов давления 1,2 ГПа и длительности $\tau_n=200-300$ мкс. Кроме того, в исходный нанопорошок в ряде случаев вводят оксиды магния и титана, которые хотя и уменьшают содержание γ -фазы в конечном продукте, но позволяют управлять процессами роста зерен. Применяемый в известном способе магнитоимпульсный метод прессования увеличивает долю стабильной α -фазы (в первичном порошке содержались в основном γ -и δ -фазы Al_2O_3) до 100% в образцах без добавки магния и титана и до 96–98% в допированных магнием и титаном образцах. Однако, из-за процессов агломерации, размер частиц в α -фазе Al_2O_3 полученной с использованием известного метода, оказывается большим: 110-300 нм, что превышает границу в 100 нм, принятую для наноматериалов.

Из всех известных способов обработки наноразмерных материалов наиболее близким к заявленному является способ обработки нанокристаллических порошков оксида алюминия, включающий импульсное воздействие ионного пучка (Д.А.Зацепин, В.М.Чернашенко, Э.З.Курмаев, С.Н.Шамин, В.В.Федоренко, Н.А.Скориков, С.В.Пластинин, Н.В.Гаврилов, А.И.Медведев, С.О.Чолах / Рентгеноэмиссионное исследование электронной структуры нанокристаллического Al_2O_3 . Физика твердого тела, 2004, т.46, вып.11. С. 2064–2068). В известном способе обработку нанокристаллических порошков Al_2O_3 проводят с использованием пучков ионов железа от источника ионов типа MEVVA, работающего в импульсно-периодическом режиме с длительностью импульса 0,4 мс, частотой повторения 25 Гц. Энергия ускоренных ионов железа была равна 30 кэВ, флюенс 10^{17} см^{-2} и плотность

тока 3 мА/см². Облучаемые нанокристаллические порошки имели средний размер частиц 17 нм. Облучение порошков ионами железа не приводило к увеличению размеров образцов. Их размер и после облучения составлял 17 нм. Рентгеноэмиссионные исследования массивного кристалла Al_2O_3 , используемого в качестве эталона, исходного необлученного нанопорошка (17 нм) Al_2O_3 и нанопорошка (17 нм) Al_2O_3 , облученного ионами железа показали, что при переходе от массивного эталонного образца Al_2O_3 к необлученному нанокристаллическому порошкообразному образцу происходит изменение структуры, наблюдается переход α -фазы к другой самостоятельной γ -фазе. (Из множества известных структурных модификаций Al_2O_3 , фазы α , β , γ , δ , ρ , χ , η и θ , только фазы α -и γ - Al_2O_3 считаются самостоятельными).

Достоинством известного способа является то, что облучение не изменяет размера частиц. Недостатком известного способа является то, что используемый режим облучения, с малыми токами, до 3 мА/см², сохраняя размеры наночастиц 17 нм в облученных образцах, не обеспечивает перехода ряда исходных наноразмерных частиц Al_2O_3 , находящихся в других возможных фазовых состояниях (γ -и δ -фазы, например) в состояние с α -фазой, являющейся наиболее устойчивой и обладающей максимальной (из всех фаз Al_2O_3) твердостью. Это видно на Фиг.1, где приведены дифрактограммы получаемого известным способом материала, образец АО-2102-1, в нем содержание α -фазы не превышает 15–20 %.

Задачей изобретения является разработка способа обработки наноразмерных материалов в виде керамики или порошков на основе оксида алюминия, обеспечивающего сохранение размеров наночастиц в модифицированном материале, предотвращающего процесс агломерации (укрупнения) частиц и обеспечивающего перевод из γ -, δ - или дру-

гих метастабильных фаз в α -фазу для повышения стабильности и твердости приповерхностных слоев материалов, что повышает их функциональные характеристики.

Для решения задачи применяют импульсное облучение образцов ионами железа с более высокой, чем в прототипе плотностью тока. Сущность изобретения заключается в том, что обработку наноразмерных материалов на основе оксида алюминия ведут с использованием импульсного воздействия на материалы пучка ионов Fe^+ при плотности тока $8\text{--}8,5 \text{ мА/см}^2$, длительности импульсов $200\text{--}600 \text{ мкс}$, энергии ускоренных ионов $25\text{--}50 \text{ кэВ}$ и флюенсе $10^{17}\text{--}3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Примеры осуществления способа приведены ниже.

Пример 1. Способ обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия. В качестве исходного наноразмерного материала используют нанокерамику или нанопорошки Al_2O_3 , состоящие в основном из самостоятельной γ -фазы и частично метастабильной δ -фазы с размерами частиц 17 нм . При облучении исходных образцов на установке MEVVA используют импульсный пучок ионов Fe^+ с длительностью импульса 200 мкс , энергией $E = 25 \text{ кэВ}$ при плотности тока 8 мА/см^2 и флюенсе 10^{17} см^{-2} . Применение способа обеспечивает получение в наноструктурированных образцах наночастиц размерами $\sim 18 \text{ нм}$, причем процент α -фазы в образцах $\sim 92\%$, а γ -фазы $\sim 8\%$. Данные приведены в таблице. Тяжелые ионы Fe^+ проникают в структуру материала и вызывают процессы перехода метастабильных γ -и δ -фаз в стабильную α -фазу (до 92%), что повышает прочность керамики. Импульсный режим облучения препятствует развитию диффузионных процессов и агломерации (укрупнению) частиц.

Пример 2. Способ обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия. В качестве исходных материалов применяют те же материалы, что и в примере 1. При облучении образцов используют установку MEVVA. Облучение образцов ведут импульсным пучком ионов Fe^+ при следующих параметрах пучка: длительность импульса 300 мкс , энергия ионов Fe^+ 35 кэВ , ток $\sim 8 \text{ мА/см}^2$, флюенс 10^{17} см^{-2} . В результате облучения получают нанокерамику оксида алюминия с размерами частиц 20 нм , причем процент α -фазы в образцах достигают 97% , а γ -фаза 3% (таблица). Как видно из таблицы, режим 2 обеспечивает сохранение мелких наночастиц на уровне 18 нм , причем основная масса частиц переводится в α -фазу, отличающуюся повышенной твердостью. Дифрактограмма полученного продукта Al_2O_3 в α -фазе приведена для образца АО-2098-3 на Фиг.2. Другие фазы типа γ -и δ -отсутствуют.

Пример 3. Способ обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия. В качестве исходных материалов применяли те же исходные образцы, что и в примере 1. Облучение образцов ведут на установке MEVVA при длительности импульса 600 мкс , энергии ионов Fe^+ 50 кэВ и плотностью тока $8,5 \text{ мА/см}^2$, флюенс $10^{17}\text{--}3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. При такой плотности тока ионов Fe^+ , повышенной до 600 мкс длительности импульса и повышенного флюенса, размер частиц увеличился до 60 нм с 99% выходом α -фазы, отличающейся повышенной твердостью. Применение ионов Fe^+ и описанных выше режимов облучения позволяет получать легированный материал, обладающий высокой твердостью с размерами частиц $18\text{--}60 \text{ нм}$, соответствующих наноразмерным материалам, т.е. до 100 нм .

При энергии пучка ионов Fe^+ 20 кэВ размер частиц сохраняется на уровне 17 нм , однако выход α -фазы невелик, всего 28% . При $E > 50 \text{ кэВ}$ и при плотности тока $> 8,5 \text{ мА/см}^2$ в импульсном режиме идет сильный разогрев образцов, что приводит к процессам агломерации и увеличению размеров наночастиц. Допускается изменение флюенса пучка ионов Fe^+ в пределах $(10^{17} \div 3 \cdot 10^{17})$, размер частиц при этом не превышает 100 нм . Большой флюенс стимулирует процессы гломерации и укрупнения частиц.

Длительность импульса выбрана в диапазоне $\tau_n = 200 \div 600$ мкс, поскольку за это время ряд процессов (диффузия, отжиг дефектов) не успевают произойти, и размеры частиц сохраняются на уровне до 100 нм. При $\tau_n < 100$ мкс начинают проявляться эффекты дальнего действия на расстояниях превышающих глубину расчетного пробега ионов Fe^{+} . При этом, в результате ударно-волновых явлений, возникают значительные повреждения атомной структуры материала. При $\tau_n > 600$ мкс успевают протекать негативные термопроцессы, приводящие к укрупнению частиц и соответственно к потере свойств, характерных для наноматериалов.

Плотность тока в заявленном способе не менее 8 мА/см². При меньшей плотности тока возможны полиморфные превращения и снижение содержания (вплоть до единиц процентов) α -фазы. Состав фаз во всех случаях подтвержден с помощью рентгено - структурного анализа. Примеры дифрактограмм, полученные на дифрактометре ДРОН – 4 в излучении меди, были приведены ранее на (Фиг.1 и Фиг.2).

Таблица

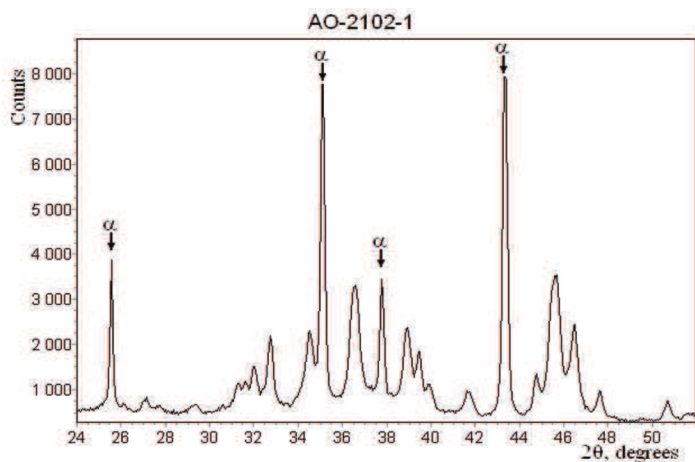
Режимы обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия.

Параметры	Заявляемый способ		
	Режим 1 E = 25 кэВ $\tau_n = 200$ мкс $j = 8$ мА/см ²	Режим 2 E = 35 кэВ $\tau_n = 300$ мкс $j = 8$ мА/см ²	Режим 3 E = 50 кэВ $\tau_n = 600$ мкс $j = 8,5$ мА/см ²
1. Флюенс, см ⁻²	10^{17}	10^{17}	$3 \cdot 10^{17}$
2. Фазовый состав наночастиц Al ₂ O ₃	α (92%), γ (8%)	α (97%), γ (3%)	α (99%), γ (1%)
3. Средний размер наночастиц, нм	18	20	60

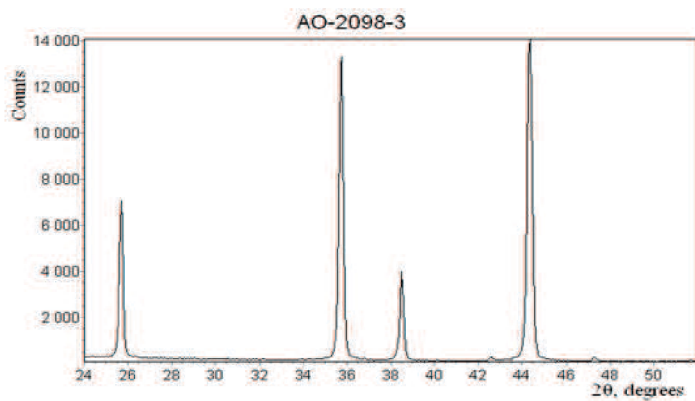
Таким образом, заявляемый способ обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия позволяет модифицировать нанокерамику или компактированные нанопорошки на его основе, переводе их в α - фазу, при сохранении размеров наночастиц, что позволяет управлять микроструктурой материала.

Формула изобретения

Способ обработки наноразмерных материалов на основе оксида алюминия, включающий импульсное воздействие на материалы пучка ионов Fe^{+} , отличающийся тем, что воздействие осуществляют пучком ионов Fe^{+} при плотности тока 8 – 8,5 мА/см², длительности импульсов 200 – 600 мкс, энергии ускоренных ионов 25 – 50 кэВ и флюенс $10^{17} - 3 \cdot 10^{17}$ см⁻².



Фиг.1



Фиг.2

Патент № 2427857 РФ. Способ определения профиля поглощенной дозы электронного излучения / Ф. Г. Нешов, И. О. Ананьев, Ю. Ю. Упорова, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, М. М. Кидибаев. Заявл. 20.04.2009, опубл. 27.08.2011. Бюл. №24.

Реферат

Описание изобретения

Изобретение относится к дозиметрической технике, связанной с измерениями профиля поглощенной дозы, создаваемой пучками электронного излучения с энергией до 10 МэВ, по глубине облучаемого электронами материала с малым эффективным атомным номером $Z_{\text{эфф}}$, близким к $Z_{\text{эфф}}$ биологической ткани ($Z_{\text{эфф}}^{\text{б.т.}} = 7,42$), особо для иммитаторов биологической ткани (вода, оргстекло, пластики), оно пригодно для реализации технологий радиационной модификации материалов, для дозконтроля процедур радиационной стерилизации функциональных и медицинских материалов, и особо при разработке и осуществлении процедур воздействия электронных пучков на опорной глубине на биологические ткани в онкологической практике, в случаях, когда требуется определение профиля распределения поглощенной дозы и дозозатрат по глубине материала в абсолютных единицах поглощенной дозы, т. е. в Грехах.

Известен способ определения профиля распределения дозы от осколков деления атомов урана, возникающих при облучении оксида урана нейтронами, в экранах из легких материалов (Г. Т. Сиборг, Э. Г. Вэлес. Элементы вселенной. М. Физматлит. 1962, с. 136-137). В известном способе облучаемый нейтронами под прямым углом экран изготавливают в виде набора тонких листочков папиросной бумаги. Возникающие в результате облучения оксида урана нейтронами радиоактивные осколки деления атомов урана проникают в экран из листочков папиросной бумаги на разную глубину. Путем измерения радиоактивности каждого отдельного листочка с помощью счетчика Гейгера определяют профиль распределения осколков деления урана и, соответственно, профиль распределения поглощенной дозы в материале экрана от радиоактивных осколков деления атомов урана. Однако этот способ, использующий счетчик Гейгера, не пригоден для определения профиля поглощенной дозы, создаваемой в облучаемых пучками электронного излучения с энергией до 10 МэВ материалах с малым эффективным атомным номером ($Z_{\text{эфф}} = 3 - 10$), поскольку такая энергия недостаточна для наведения активности в легких материалах.

Проблема определения профиля распределения поглощенной дозы электронного излучения в абсолютных единицах, Грехах, наиболее актуальна для материалов с малым эффективным атомным номером, близким к $Z_{\text{эфф}}$ биологической или костной ($Z_{\text{эфф}} \sim 10^{11}$) тканей или в их имитаторах, на которых отрабатываются модели и режимы радиационного воздействия на опухоли, поскольку определение опорной глубины облучения в онкологической практике однозначно связано с определением положения максимума поглощенной дозы в материале. Обычно такое определение профиля распределения поглощенной дозы в материале проводят с использованием детектора сопровождения – государственного стандартного образца поглощенной дозы фотонного и электронного излучений, в виде полимерной пленки.

Известен способ определения профиля распределения поглощенной дозы от электронного излучения с энергией до 10 МэВ в абсолютных единицах в кристаллах LiF:Sc (Т. S. Koroleva, М. М. Kidibaev, А. N. Tcherepanov, Е. Yu. Zhuravleva, В. V. Shulgin. Conference program and book of abstracts 10th Europhysical Conference of Defects In Insulating Materials, Milano, University of Milano-Bicocca, P.345, abstract № PTh82). В известном способе профиль распределения поглощенной дозы в облучаемых образцах LiF:Sc определен с использованием в качестве детектора сопровождения государственных стан-

дартных образцов (ГСО) в виде полимерной пленки марки СО ПД(Ф)Р (в русской транскрипции СО ПД (Ф)Р) на базе сополимера с феназиновым красителем. При этом кристаллы LiF:Sc раскалывались на тонкие пластинки, которые собирались в плотный пакет вместе с детекторами сопровождения в виде полимерных пленок, размещенных между пластинками из кристаллов LiF:Sc. Полученную конструкцию устанавливали перпендикулярно к падающему пучку электронов. После облучения электронами испытываемого материала в виде вышеназванной конструкции из нее извлекали государственные стандартные образцы (полимерные пленки) и проводили стандартную процедуру определения поглощенной дозы путем измерения оптической плотности облученной полимерной пленки (Инструкция по применению «Государственного стандартного образца поглощенной дозы фотонного и электронного излучений (сополимер с феназиновым красителем) СО ПД (Ф) Р-5/50 или СО ПД (Ф) Р-5/150»). Однако известный способ не является экспрессным и экономичным, поскольку при использовании, например, семи-десяти тонких пластинок из LiF:Sc необходимых для обеспечения пространственного разрешения при определении профиля поглощенной дозы требуется шесть-девять ГСО в виде полимерных пленок, для каждой из которых после облучения требуется в соответствии со стандартной процедурой проведение измерения оптической плотности на спектрофотометре на длине волны 512 нм относительно опорного образца ГСО, что приводит к существенным временным затратам. Недостатком известного способа является также то обстоятельство, что для определения профиля распределения поглощенной дозы в кристалле LiF:Sc требуется нарушить его целостность, а именно расколоть его на несколько (5 – 10 и более) пластинок, чтобы между ними расположить целый набор полимерных пленок ГСО на базе сополимера с феназиновым красителем. Недостатком известного способа является также увеличение погрешности измерений поглощенной дозы электронного излучения в связи с альбедными процессами рассеяния электронов на стыках отдельных кристаллических пластинок LiF:Sc.

Наиболее близким к заявляемому является способ, описанный в работе (И. О. Ананьев, Ю. Ю. Упорова, Ф. Г. Нешов, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, М. М. Кидибаев // Определение профиля поглощенной дозы электронного излучения // Межвуз. сб. научных трудов «Проблемы спектроскопии и спектрометрии». Екатеринбург. УГТУ-УПИ. 2008, вып.25.с.191–200). В рамках известного способа определен профиль распределения поглощенной дозы от пучков электронного излучения с энергией до 10 МэВ в оргстекле (полиметилметакрилате) и в кристаллах фторида натрия NaF, то есть в материалах с малым эффективным атомным номером $Z_{\text{эфф}} \leq 10,5$. В рамках известного способа исследуемые материалы, для которых проводилось определение профиля распределения поглощенной дозы электронного излучения (использовали ускоритель микротрон, энергия электронов 10 МэВ), применялись в виде набора до 10 и более тонких пластин толщиной 1 – 5 мм. В случае оргстекла использовали листовой материал толщиной 5 мм. Кристаллы NaF при измерениях приходилось раскалывать на более тонкие пластинки толщиной 1 – 3 мм. Общая толщина набора пластин доходила до 40 – 80 мм и более (для оргстекла). За каждой пластиной исследуемого материала располагали используемый в качестве детектора сопровождения государственный стандартный образец поглощенной дозы фотонного и электронного излучения в виде полимерных пленок сополимера с феназиновым покрытием типа СО ПД(Ф)–5/150 ГСО толщиной 56 мкм. Набор пластин из исследуемого материала вместе с полимерными пленками ГСО устанавливали перпендикулярно к падающему электронному пучку (Фиг. 1). Облучение проводили электронным пучком с энергией $E = 10$ МэВ, в течение 7–14 мин, при условиях: температура образцов при облучении не превышала 35°C, влажность до 80% и атмосферное давление от 630 до 800 мм рт. ст. Такие условия обеспечивают метрологические характеристики полимерных пленок. После облучения для каждой из облученных полимерных пленок ГСО в соответствии со стандартной процедурой определяли

оптическую плотность на длине волны 512 нм в сравнении с таковой для необлученного образца, по которой с помощью градуировочных характеристик, рассчитанных на диапазон 5 – 150 кГр, определяли поглощенную дозу в абсолютных единицах и ее профиль по глубине исследуемых материалов в строгом соответствии с Инструкцией и паспортом на применяемые ГСО.

Недостатками известного способа являются его дороговизна, связанная с необходимостью применения детекторов сопровождения в виде полимерных пленок (5 – 10 штук и более), его невысокая экспрессность, связанная с необходимостью установки, а затем извлечения всех используемых полимерных пленок из облученного набора (5 – 10 штук и более) с последующим измерением оптической плотности каждой из облученных полимерных пленок, что требует дополнительного времени на их установку в спектрофотометре. Главным недостатком известного способа является необходимость раскалывать или разрезать исследуемые образцы материалов на тонкие пластинки, что нарушает их целостность и требует дополнительного времени на раскалывание, то есть снижает экспрессность. Кроме того, применение анализируемого материала в виде тонких пластинок увеличивает погрешность измерений из-за возникающих при этом альбедных процессов рассеяния электронов на всех стыках отдельных пластинок, что искажает кривую распределения профиля поглощенной дозы в материале.

Задачей изобретения является разработка более дешевого и более экспрессного способа определения профиля поглощенной дозы, создаваемой пучком электронного излучения в материалах, не требующего нарушения их целостности, а также снижение погрешности измерения.

Поставленная задача решается за счет упрощения процедур подготовки анализируемого материала к определению профиля распределения в нем поглощенной дозы электронного излучения, за счет снижения числа используемых детекторов сопровождения в виде полимерных пленок ГСО, за счет изменения геометрии облучения, а также за счет исключения альбедных компонент рассеяния первичного электронного пучка на внутренних границах раздела из-за ликвидации (отсутствия) таких границ.

Сущность изобретения заключается в том, что для определения профиля распределения поглощенной дозы электронного излучения с энергией до 10 МэВ в абсолютных единицах поглощенной дозы в материале образца с малым эффективным атомным номером ($Z_{\text{эф}} \leq 11$), проводят облучение материала вместе с используемым в качестве детектора сопровождения государственным стандартным образцом поглощенной дозы в виде полимерной пленки из сополимера с феназиновым покрытием, а также стандартную процедуру определения поглощенной дозы путем сравнительных измерений оптической плотности облученной полимерной пленки и необлученного образца полимерной пленки, выбираемого в качестве опорного, при этом образец исследуемого материала формируют в виде двух блоков, каждый из которых имеет форму параллелепипеда или цилиндра, с общей плоскостью соприкосновения; при этом государственный стандартный образец поглощенной дозы в виде полимерной пленки устанавливают между блоками исследуемого материала, после чего полученную конструкцию облучают электронным пучком диаметром 10^{-15} мм вдоль плоскости соприкосновения блоков исследуемого материала и вдоль полимерной пленки детектора сопровождения, после чего используют стандартную процедуру определения поглощенной дозы, при выполнении которой измерения оптической плотности государственного стандартного образца поглощенной дозы в виде полимерной пленки проводят вдоль ее длины с шагом 1 – 3 мм, необходимым для обеспечения требуемого пространственного разрешения профиля поглощенной дозы по глубине исследуемого материала, при этом высоту и ширину образца исследуемого материала, приготовленного в виде параллелепипеда или диаметр образца исследуемого материала, приготовленного в виде цилиндра, выбирают такими, чтобы они в 2 – 3 раза превышали диаметр электронного пучка.

Преимуществом предлагаемого способа является упрощенная процедура подготовки к облучению: вместо 5 – 10 образцов (пластинок) анализируемого материала и почти такого же количества детекторов сопровождения, которые ранее надо было собрать в сборку, а после облучения разобрать, в предлагаемом способе используют сборку из двух блоков (в форме параллелепипедов или цилиндров). Это существенно удешевляет способ, увеличивает его экспрессность и сохраняет целостность образцов. В предлагаемом способе автоматически исключаются внутренние альбедные эффекты, поскольку набор пластинок, 5 – 10 штук, отсутствует, что снижает погрешность измерения. Стандартная процедура анализа (определения) оптической плотности детектора сопровождения на основе полимерной пленки ГСО может быть механизирована и автоматизирована, что делает предлагаемый способ еще более перспективным.

Качественно в облученных прозрачных образцах величина опорной глубины (позиция максимума поглощенной дозы в материале) может быть определена оптическим методом с помощью лазерной подсветки тонким лучом. На опорной глубине образуется максимальное количество дефектов, на которых сильнее рассеивается лазерный луч.

Способ иллюстрируется следующими примерами.

Пример 1. Способ определения профиля распределения поглощенной дозы, создаваемой пучком направленного электронного излучения с энергией 10 МэВ в оргстекле. Для измерения поглощенной дозы в абсолютных единицах (Греях) использовали государственные стандартные образцы (ГСО) поглощенной дозы фотонного и электронного излучений на основе пленок поликарбоната с феназиновым красителем типа СО ПД(Ф)–5/150 ГСО или СО ПД(Ф)–5/50.

Два блока из оргстекла в виде параллелепипедов размерами $40 \times 80 \times 110$ мм, прижатые друг к другу большими гранями, 80×110 мм, и скрепленные липкой лентой образовывали вместе с установленной между большими гранями этих блоков полимерной пленкой ГСО размерами 12×35 мм конструкцию из анализируемого материала. Облучение сборки из оргстекла с детектором сопровождения в виде пленки ГСО проводили на микротроне УГТУ-УПИ при условиях: энергия пучка электронов 10 МэВ, время облучения 7,5 – 8 минут при температуре образцов до 35°C (образцы нагревались до такой температуры при облучении) и влажности воздуха 80% и давлении 730 мм рт. ст. Схема эксперимента по облучению показана на Фиг. 2. Как видно из Фиг. 2 облучение электронным пучком проводят вдоль полимерной пленки.

Оптическую плотность облученного образца ГСО в виде полимерной пленки, вынутой их сборки после облучения измеряли в соответствии с паспортом на ГСО (паспорт на ГСО ПД (Ф)-5/150 ГСО 4447-88) через 30 минут после облучения (в соответствии с регламентом регистрацию оптической плотности следует проводить через 30 минут, но не позднее 5 суток после облучения). Измерения оптической плотности облученных образцов ГСО проводили в сравнении с опорными образцами ГСО. Опорные образцы (2 – 4 штуки) были выбраны из большой партии ГСО (не менее 30 штук), значение первичной оптической плотности которых близко к среднему. Оптическую плотность облученных и опорных образцов измеряли на спектрофотометре Гелиос-Альфа на длине волны 512 нм строго в соответствии с инструкцией по применению ГСО (Инструкция по применению «Государственного стандартного образца поглощенной дозы фотонного и электронного излучений (сополимер с феназиновым красителем СО ПД(Ф)Р-5/150 или СО ПД(Ф)Р-5/50)», приложение (обязательное) к паспорту на СО ПД(Ф)Р-5/150). Измерение проводили вдоль полимерной пленки от ее начала до конца с шагом 3 мм. Выбор шага измерения 1 мм для оргстекла допустим, а выбор меньшего шага, чем 1 мм ведет к снижению экспрессности измерений. В процессе обработки результатов вычисляли отношение средней оптической плотности A к средней толщине пленок $\delta = 0,056$ мм в каждой точке измерения и определяли поглощенную дозу D по

градуировочным кривым, приведенным в Инструкции для конкретного вида ГСО. Зависимость абсолютной величины поглощенной дозы электронного излучения от глубины материала-поглотителя (оргстекла), иначе говоря, профиль распределения поглощенной дозы в оргстекле показан на Фиг. 3, кривая 1. Максимальное значение поглощенной дозы (погрешность $\pm 15\%$) порядка 40 – 45 кГр наблюдается на глубине 10^{-15} мм. Явного провала в зависимости $D(L)$, где L – глубина, в случае использования объемных блоков оргстекла не наблюдается. При использовании отдельных тонких пластинок из оргстекла такой провал наблюдался для глубины ~ 20 мм (Фиг. 3, кривая 2) из-за альбедных процессов на стыках отдельных пластинок (И. О. Ананьев, Ю. Ю. Упорова, Ф. Г. Нешов, А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, М. М. Кидибаев // Определение профиля поглощенной дозы электронного излучения // Межвуз. сб. научных трудов «Проблемы спектроскопии и спектрометрии». Екатеринбург. УГТУ-УПИ. 2008, вып.25, с.191–200). Применение пучка электронов диаметром 6 мм ведет к увеличению погрешности измерений из-за того, что диаметр пучка меньше ширины полимерной пленки. Увеличение диаметра пучка электронов до 30 мм также увеличивает погрешность измерений, поскольку часть рассеянных в образце электронов выходит за пределы образца через верхнюю и боковую поверхности.

Пример 2. Способ определения профиля распределения поглощенной дозы, создаваемой пучком направленного электронного излучения с энергией 10 МэВ в кристаллах NaF:U. Кристаллы NaF имеют эффективный атомный номер $\sim 10,5$, близкий к $Z_{\text{эфф}}$ костной ткани и могут служить имитатором костной ткани. Для измерения профиля распределения поглощенной дозы в абсолютных единицах (Греях) в кристаллах NaF использовали государственные стандартные образцы (ГСО) поглощенной дозы фотонного и электронного излучений на основе полимерных пленок поликарбоната с феназиновым красителем типа СО ПД(Ф)–5/150 ГСО 4447–88.

Два цилиндрических блока в виде цилиндрических булей кристаллов NaF:U диаметром 60 мм, высотой 40 мм, выращенные в Институте физики НАН Кыргызстана методом Киропулоса в платиновом тигле на воздухе, с плоскими сколами, образующими основания цилиндра, плотно соединялись основаниями друг с другом и скреплялись липкой лентой. Между цилиндрами устанавливался детектор сопровождения в виде полимерной пленки ГСО шириной 10 мм, длиной 30 мм.

Облучение кристаллов NaF:U с детектором сопровождения в виде пленки ГСО проводили на микротроне УГТУ-УПИ при условиях: энергия пучка электронов 10 МэВ, время облучения 15 минут при температуре образцов до 35°C (образцы нагревались до такой температуры при облучении), влажности воздуха 80% и атмосферном давлении 730 мм рт. ст. При этих условиях метрологические характеристики полимерных пленок сохраняются.

Оптическую плотность детектора сопровождения облученного образца полимерной пленки ГСО измеряли так же, как и в Примере 1. По той же процедуре, как и в Примере 1, определяли поглощенную дозу D и профиль ее распределения по глубине кристалла NaF:U. Требуемое пространственное разрешение и, соответственно, требуемых шаг измерения оптической плотности полимерной пленки ГСО подбирали экспериментально с учетом глубины расположения в материале максимума поглощенной дозы. Шаг измерения для кристаллов NaF был выбран ~ 1 мм.

Позицию максимума поглощенной дозы в материале можно предварительно оценить путем расчета энергии электронов, теряемой в элементе кристалла толщиной Δx , находящимся на расстоянии x от облучаемой поверхности (И. О. Ананьев, Ю. Ю. Упорова, Ф. Г. Нешов и др. / Определение профиля поглощенной дозы электронного излучения // межвуз. сб. науч. трудов «Проблемы спектроскопии и спектрометрии», 2008, вып.25, с. 191–200). Согласно расчетам для кристаллов NaF максимальное де-

фектообразование, вызываемое электронами с энергиями 10 МэВ, происходит на глубине ~4 мм. Допустим шаг до 3 мм, больший шаг недопустим. Таким образом выбранный для измерения шаг ~1 мм является подходящим.

Профиль распределения поглощенной дозы в кристаллах NaF показан на Фиг. 3, кривая 1. Максимальное значение поглощенной дозы ~52 кГр зафиксировано для глубины около 4 мм. Других явно выраженных пиков, кроме основного, на кривой распределения поглощенной дозы в кристаллах NaF не наблюдается вплоть до глубины 25 мм из-за отсутствия альбедных эффектов рассеяния электронов. В случае кривой распределения поглощенной дозы, полученной для отдельных тонких кристаллов NaF, такие эффекты наблюдались (Фиг. 4, кривая 2). Предлагаемый способ обеспечивает меньшую погрешность измерения профиля распределения поглощенной дозы.

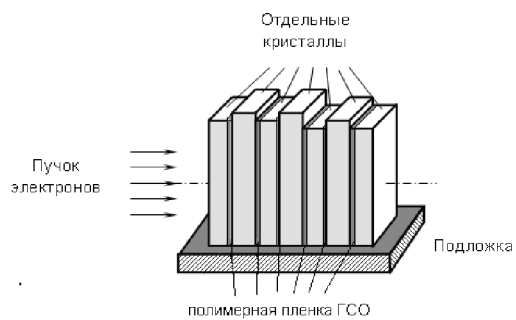
Уменьшение диаметра пучка электронов до 6 – 8 мм ведет к увеличению погрешности измерения из-за того, что он меньше ширины полимерной пленки ГСО, применяемой в качестве детектора сопровождения. Увеличение диаметра пучка электронов также ведет к увеличению погрешности из-за того, что часть вторично рассеянных в материале образца электронов покидает образец через внешнюю поверхность и не оказывает влияния на полимерную пленку детектора сопровождения.

Формула изобретения

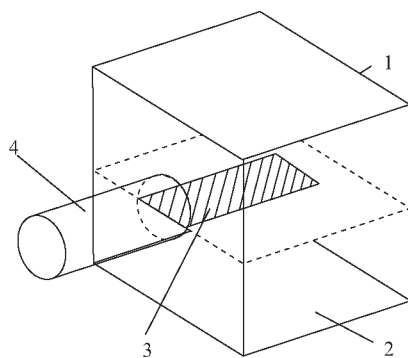
1. Способ определения профиля распределения поглощенной дозы электронного излучения с энергией до 10 МэВ в абсолютных единицах поглощенной дозы в материале образца с малым эффективным атомным номером ($Z_{\text{эфф}} \leq 11$), включающий облучение материала вместе с используемым в качестве детектора сопровождения государственным стандартным образцом поглощенной дозы в виде полимерной пленки, а также стандартную процедуру определения поглощенной дозы путем сравнительных измерений оптической плотности облученной полимерной пленки и необлученного образца полимерной пленки, выбираемого в качестве опорного, отличающийся тем, что образец формируют в виде двух блоков из исследуемого материала, каждый из которых имеет форму параллелепипеда или цилиндра, с общей плоскостью соприкосновения; при этом государственный стандартный образец поглощенной дозы в виде полимерной пленки устанавливают и монтируют между блоками исследуемого материала, после чего полученную конструкцию облучают электронным пучком диаметром 10^{-15} мм вдоль плоскости соприкосновения блоков исследуемого материала и вдоль полимерной пленки детектора сопровождения, после чего используют стандартную процедуру определения поглощенной дозы.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что профиль распределения поглощенной дозы определяют в рамках стандартной процедуры определения поглощенной дозы путем измерения оптической плотности государственного стандартного образца поглощенной дозы в виде полимерной пленки вдоль ее длины с шагом 1 – 3 мм, необходимым для обеспечения требуемого пространственного разрешения профиля поглощенной дозы по глубине исследуемого материала.

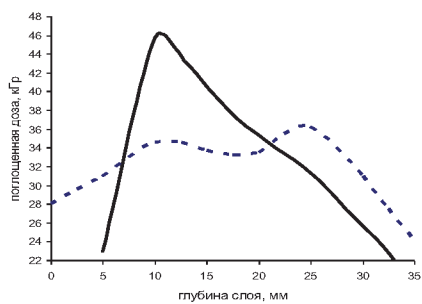
3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что высота и ширина образца исследуемого материала, приготовленного в виде параллелепипеда или диаметр образца исследуемого материала, приготовленного в виде цилиндра, в 2 – 3 раза превышает диаметр электронного пучка.



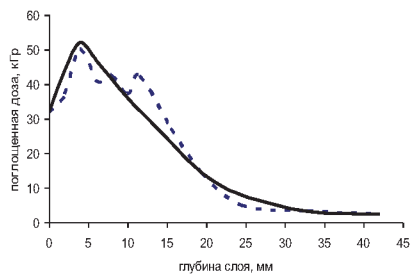
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Патент.№ 2435173 РФ. Способ контроля делящихся материалов / А. С. Шейн, Л. В. Викторов, А. Ю. Кузнецов, Ю. Н. Новоселов, Б. В. Шульгин, И. В. Глазачев, Ю. С. Калугина, С. О. Чолах. Заявл. 05.02.2010; опубл. 27.11.2011. Бюл. № 33.

Реферат

Применение: для контроля делящихся материалов. Сущность: контроль осуществляет проверяющая сторона в спектральном диапазоне 20 – 700 кэВ, причем проверяемая сторона перед началом санкционированного инспекционного контроля создает помехи измерениям, для чего устанавливает перед входом сцинтилляторного детектора, принадлежащего проверяющей стороне, два дополнительных гамма-излучателя Се-139 и Cs-137 и металлический ослабитель гамма-излучения в виде фигуры с переменным сечением, форма которого неизвестна проверяющей стороне. Технический результат: обеспечение антиинтрузивности контроля.

Описание изобретения

Изобретение относится к области радиационного контроля с использованием сцинтилляционных детекторов и предназначено для контроля делящихся материалов U-235 и Pu-239, изделий из них и объектов их содержащих, особо для контроля и определения числа ядерных боезарядов в головках ракет без определения их ингредиентного состава при санкционированных инспекционных проверках ядерных боеприпасов антиинтрузивным способом, исключающим возможность получения проверяющей стороной информации об ингредиентах, входящих в состав ядерных боезарядов и о конструкции ядерных боезарядов проверяемой стороны. Такой способ необходим для контроля за проведением декларируемых проверяемых сокращений ядерных вооружений во исполнение договоров об ограничении стратегических наступательных вооружений (СНВ).

Предлагаемый способ пригоден для санкционированного антиинтрузивного инспекционного обследования (контроля-проверки на месте) боеголовок ракет стратегического назначения, используемых в качестве средств доставки ядерных боезарядов, проводимого во исполнение договоров об ограничении СНВ при взаимоприемлемых, выполняемых проверяющей и проверяемой сторонами условиях:

- информация об ингредиентах ядерных боезарядов, принадлежащих проверяемой стороне, и о конструкциях этих боезарядов должна быть недоступной проверяющей стороне;
- применяется только пассивный метод контроля с использованием сцинтилляционного детектора, способ активного радиационного зондирования ядерных боезарядов по условиям проверки не допускается;
- разрешенный диапазон анализируемого спектра гамма-излучения ограничен и находится в пределах 20 – 700 кэВ.

Известен способ контроля делящихся материалов (S. Fetter, T.B. Cochran, L. Grodzins, H.L. Lynch, M.S. Zucker / Gamma-Ray Measurements of a Soviet Cru/Se-Missile Warhead //Science, 18 May 1990, V. 248. P. 828-834), использованный специалистами из США (проверяющая сторона) при проведении санкционированного контроля головок ракет с ядерными боезарядами на российском крейсере «Слава»- проверяемая сторона. В известном способе контроль осуществляли с использованием сцинтилляционного спектрометрического детектора на основе NaI:Тl или полупроводникового детектора из особо чистого германия. Известный способ позволяет определять наличие объектов и изделий из делящихся материалов U-235 и Pu-239, в том числе наличие (U,Pu)-ядерных боезарядов в головках ракет. Применяемый в этом способе детектор из особо чистого германия, работающий в пассивном спектрометрическом режиме на расстояниях 1,5 - 6 м зафиксировал наличие четырех линий изотопов урана U-235 при 143,79 и 185,74 кэВ

(наиболее интенсивные линии) и при 163,38 и 205,33 кэВ (слабые пики), а также 14 линий изотопов плутония Pu-239; наиболее интенсивные из них зафиксированы при 344,94; 375,02; 392,50 + 393,12; 413,69 и 451,44 кэВ. При использовании сцинтилляционного детектора на основе NaI:Tl, работающего в спектрометрическом режиме, указанные выше основные наиболее интенсивные линии изотопов урана и плутония также были зафиксированы. Недостатком известного способа контроля делящихся материалов U-235 и Pu-239, который проводился с использованием как сцинтилляционного, так и полупроводникового спектрометра является то, что он относится к числу интрузивных способов контроля: он не только позволяет установить наличие и число ядерных боезарядов из делящихся материалов в головках ракет, но и определять состав их ингредиентов. Известный способ не может быть применен для антиинтрузивного контроля делящихся материалов

Известен способ контроля делящихся материалов (D.Reilly, N. Ensslin./ Nuclear Material Measurement Technologies. P. 31-62 в книге Nuclear Safeguards, Security and Non-proliferation, Editor James E. Doyle. Elsevier Publ. 2008. P. 31-62) с использованием работающих в спектрометрическом режиме сцинтилляционного детектора на основе NaI:Tl, или полупроводниковых детекторов на основе CdZnTe, или особо чистого германия. Способ использован для контроля делящихся материалов по спектрам их гамма-излучения, таких материалов, как изотоп урана U-235 (линии 185,7 кэВ 54%, 143,8 кэВ 11%, 163,4 кэВ 5% и 205,3 кэВ 3%) и изотоп плутония Pu-239. Однако известный способ контроля делящихся материалов является интрузивным, он не может быть использован для санкционированного антиинтрузивного контроля делящихся материалов или объектов их содержащих и изделий из них, поскольку антиинтрузивный контроль запрещает определять состав ингредиентов делящихся материалов (в том числе ингредиентов ядерных боезарядов) по спектрам их гамма-излучения.

Известен способ контроля радиоактивных материалов с применением сцинтилляционного детектора на основе NaI:Tl (А.С. Шеин, Л.В. Викторов, Г.А. Кунцевич, А.Л. Крымов, В.Л. Петров. Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Межвуз. сб. научн. трудов. УГТУ-УПИ, 2008, вып. 25, с. 215 – 226). Способ предназначен для обнаружения радиоактивных, в том числе делящихся материалов, по их гамма-излучению для идентификации и оценки активности обнаруженных источников гамма-излучения, а также для осуществления контроля за перемещениями радиоактивных материалов, включая делящиеся материалы и изделия из них. Поскольку делящиеся материалы U-235 и Pu-239 являются гамма-излучателями, известный способ пригоден для контроля этих делящихся материалов. Однако известный способ обнаружения радиоактивных и делящихся материалов не пригоден для осуществления антиинтрузивного контроля изделий из делящихся материалов, поскольку он не только позволяет определять наличие делящихся материалов, но и позволяет идентифицировать в обнаруженных делящихся материалах изотопы U-235 и Pu-239, то есть позволяет определять состав ингредиентов делящихся материалов.

Известен способ on-site контроля (контроля на месте) ядерных боезарядов в головках ракет (Robert Mozley / Verifying The Number of Warheads on Multip-warhead Missiles Through On-site Inspections // Science and Global Security. 1990. Volume 1. P. 303-321) путем активного радиационного зондирования ядерных боезарядов с помощью дополнительного источника гамма-излучения Co-60, активностью $3 \cdot 10^5$ квант/с путем анализа эффекта поглощения гамма-излучения ядерными боезарядами. При этом регистрацию гамма-излучения ведут с помощью линейки из NaI:Tl – сцинтилляторов. Однако этот способ в связи с повышением уровня радиации опасен для персонала, проводящего контроль и может быть запрещен условиями договора об инспекции ядерных боезарядов.

Известен способ контроля делящихся материалов и объектов их содержащих (Robert Mozley / Verifying The Number of Warheads on Multip-warhead Missiles Through

On-site Inspections // Science and Global Security. 1990. Vol. 1. P. 303-321) путем активного радиационного зондирования ядерных боезарядов с использованием дополнительного источника нейтронов для «подсветки» ядерного боезаряда с целью стимуляции в нем ядерной реакции деления, что повышает эффективность его обнаружения. Однако известный способ увеличивает радиационную опасность для персонала, участвующего в контроле. Способы активного радиационного зондирования ядерных боезарядов могут быть запрещены условиями договора о санкционированной инспекции.

Наиболее близким к заявляемому является известный способ контроля делящихся материалов U-235 и Pu-239 и объектов их содержащих по гамма-излучению делящихся материалов с использованием сцинтилляционного детектора (E.G. Golikov, V.S. Andreev, D.B. Shulgin, I.A. Sadovenko / Collimation Influence on Scintillation Sensitivity of Inspection gamma-spectrometer System. Book of Abstracts Int. Conf. on Inorg. Scintillators and Their Applications. TU Delft. The Netherlands. 1995. P. 74). В известном способе контроля используют сцинтилляционный детектор на основе CsI-Tl, работающий в спектрометрическом режиме (энергетическое разрешение – 8% для линии изотопа Cs-137 с энергией 662 кэВ). С помощью этого детектора, работающего в спектрометрическом режиме, с расстояния 3 м при контроле микроколичеств образцов делящихся материалов в диапазоне спектра 100 – 3000 кэВ были зафиксированы линии изотопа урана U-235 (143 и 185 кэВ) и изотопа плутония Pu-239 (375, 393 и 414 кэВ). Однако известный способ контроля делящихся материалов с применением работающего в спектрометрическом режиме сцинтилляционного детектора на основе CsI-Tl не обеспечивает антиинтрузивности контроля, поскольку позволяет определять по спектрам гамма-излучения изотопы элементов, входящих в состав делящихся материалов (U-235, Pu-239) и в состав объектов (изделий) их содержащих, то есть позволяет определять ингредиентный состав делящихся материалов.

Задачей изобретения является разработка способа контроля делящихся материалов (U-235, Pu-239) и объектов (изделий) их содержащих с использованием сцинтилляционного детектора, работающего в спектрометрическом режиме, который при проведении санкционированного контроля, проводимого проверяющей и проверяемой сторонами, должен обеспечивать антиинтрузивность контроля, то есть разработка такого способа контроля, который позволяет определять только наличие делящихся материалов и объектов (изделий) их содержащих, без определения ингредиентного состава делящихся материалов. Эту задачу решает предлагаемый способ контроля делящихся материалов U-235, Pu-239 и объектов (изделий) их содержащих, в том числе контроля U(Pu)-боезарядов в головках ракет, проводимого в рамках санкционированного контроля с помощью спектрометрического сцинтилляционного детектора гамма-излучения путем анализа спектров гамма-излучения проверяемых объектов с делящимися материалами, при этом контроль осуществляет проверяющая сторона в спектральном диапазоне 20 – 700 кэВ, причем проверяемая сторона перед началом санкционированного инспекционного контроля создает помехи измерениям, для чего устанавливает перед входом сцинтиллока сцинтилляционного детектора, принадлежащего проверяющей стороне, два дополнительных гамма-излучателя Ce-139 и Cs-137 и металлический ослабитель гамма-излучения в виде фигуры с переменным сечением, форма которого неизвестна проверяющей стороне.

Суть изобретения заключается в том, что применение помех в виде дополнительных источников гамма-излучения Ce-139 и Cs-137 и металлического ослабителя гамма-излучения в виде фигуры сложной формы, устанавливаемых проверяемой стороной перед сцинтиллоком сцинтилляционного гамма-спектрометра проверяющей стороны, приводит к резкому искажению спектра регистрируемого гамма-излучения от предполагаемых ингредиентов ядерного боезаряда: U-235 и Pu-239 и настолько искажает информацию, поступающую от сцинтиллока в спектрометрический канал сцинтилляционного

детектора, что определение ингредиентного состава делящихся материалов становится невозможным. Применение помех обеспечивает антиинтрузивность контроля. Форма металлического ослабителя переменного сечения сложного профиля и тип металла-ослабителя должны быть неизвестны проверяющей стороне во избежание коррекции спектров проверяющей стороной путем компьютерного моделирования. Выбранный допустимый диапазон анализируемого спектра гамма-излучения 20 – 700 кэВ обусловлен тем, что он включает в себя все необходимые линии гамма-спектра изотопов U-235 и Pu-239, а также гамма-линии используемых в качестве помех дополнительных источников гамма-излучения Ce-139 (164 кэВ) и Cs-137 661,7 кэВ).

Примеры осуществления предлагаемого способа контроля приведены для случаев, когда работу выполняли не с реальными ядерными боезарядами, а с их имитаторами в виде образцовых источников U-235 и Pu-239, используемых по отдельности или одновременно. Способ иллюстрируется следующими примерами выполнения.

Пример 1. Способ контроля делящихся материалов на основе U-235. Обнаружение имитатора уран-содержащего боезаряда проведено с использованием в качестве имитатора боезаряда образцового гамма-источника U-235 активностью $2,25 \cdot 10^5$ квант/с. Контейнер с U-235 был расположен на расстоянии 1 м от сцинтилляционного детектора, работающего в спектрометрическом режиме. Спектр гамма-излучения образцового источника U-235, приведен на Фиг. 1 На Фиг. 1 приведен зарегистрированный в диапазоне 20 – 700 кэВ спектр излучения гамма- источника с U-235, играющего роль имитатора ядерного боезаряда, измеренный в рамках предполагаемого способа. В качестве помех использовали цилиндрический ослабитель из стали Ст-3 толщиной ~ 3 см в виде цилиндра-антиконуса, устанавливаемого между контейнером с U-235 и торцом сцинтиллока сцинтилляционного детектора, а также устанавливаемые непосредственно перед сцинтиллоком дополнительные гамма-излучатели либо один Ce-139 или совместно Ce-139 и Cs-137. На Фиг. 1 приведены результаты измерения только с одним дополнительным, создающим помехи гамма-излучателем Ce-139. Из Фиг. 1 видно, что основной пик, создаваемый помехой Ce-139, расположен при 164 кэВ, он полностью камуфлирует, закрывает пики U-235 при 142 и 185,9 кэВ. Для сравнения на Фиг. 2 приведены спектры того же гамма-источника U-235, измеренные с помощью того же сцинтилляционного гамма-спектрометра, в той же геометрии, но без применения помех. В спектре четко фиксируются пики при 142,0 и 185,9 кэВ, принадлежащие изотопу U-235. В низкоэнергетической части спектра зарегистрирован ряд линий, связанных с характеристическим рентгеновским излучением металлических компонент контейнера, в частности, с излучением свинца, линия при 84 кэВ. Включение второго дополнительного гамма-излучателя Cs-137 еще более искажает спектр U-235, в спектре доминирует линия 661,7 кэВ при наличии черневого пика при 164 кэВ. Сравнение гамма-спектров, приведенных на Фиг. 1 и Фиг. 2 показывает высокую эффективность предлагаемого способа в плане обеспечения антиинтрузивности контроля.

Пример 2. Способ контроля делящихся материалов на основе Pu-239. Обнаружение имитатора Pu-содержащего боезаряда проведено с использованием образцового стандартного гамма-источника Pu-239 активностью 10^4 квант/с. Геометрия эксперимента была такая же, как и в Примере 1, однако из-за слабой интенсивности Pu-источника расстояние между ним и сцинтиллоком было уменьшено. Известно, что основные пики в гамма-спектре Pu-239 расположены при 375, 393 и 414 кэВ. Применение помех: ослабителя в виде антиконуса из стали Ст-3 толщиной 1 см и дополнительного гамма-излучателя Cs-137 привело к полному искажению спектра Pu-имитатора ядерного боезаряда, Фиг. 3. Весь диапазон спектра излучения Pu-239 (позиции пиков указаны на Фиг. 3 цифрами) перекрывается комптоновским хвостом от гамма-излучателя Cs-137 (фотопик

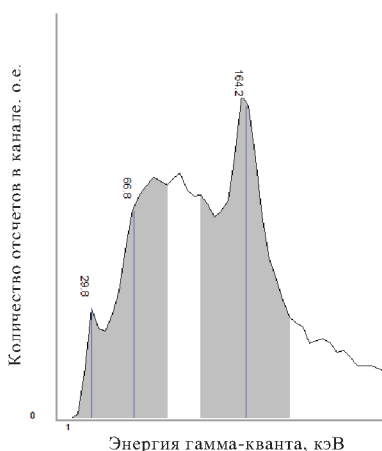
при 661,7 кэВ). Предлагаемый способ обеспечивает антиинтрузивность контроля с высокой степенью надежности.

Пример 3. Способ контроля делящихся материалов на примере контроля смеси изотопов U-235 и Pu-239. Поскольку априори не известен и не должен быть известен ингредиентный состав ядерного боезаряда, который должен остаться неизвестным и после проведения антиинвазивного санкционированного контроля в имитаторе ядерного боезаряда предполагается наличие обеих U–Pu компонент. По этой причине в предлагаемом способе, если он осуществляется в полном объеме, для создания помех используют для искажения спектра два дополнительных гамма-источника Ce-139 и Cs-137, искажающие диапазон спектра 20 – 700 кэВ, а также ослабитель. с формой переменного сечения, как в примерах 1 и 2. В результате применения помех спектр гамма-излучения контролируемого имитатора ядерного боезаряда оказывается полностью искаженным. Он похож на спектр, приведенный на Фиг. 3. Это обеспечивает антиинтрузивность проведения контроля.

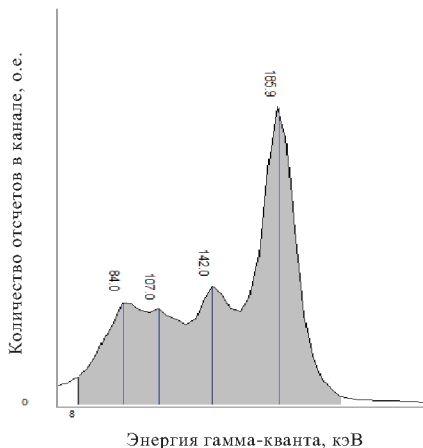
Предлагаемый способ является недорогим, оперативным и обеспечивающим антиинтрузивность контроля ядерных боезарядов в головках ракет в реальных условиях санкционированной инспекции в рамках договоров об ограничении СНВ.

Формула изобретения

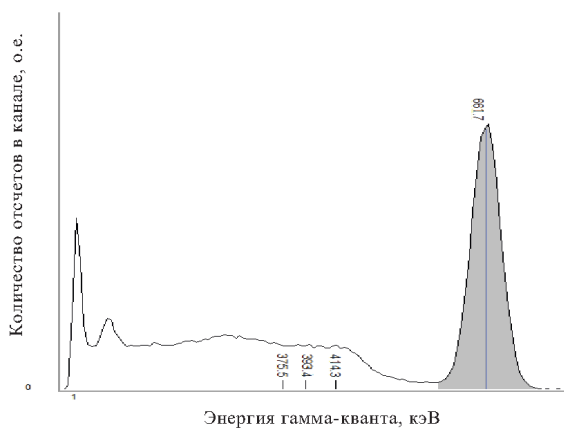
Способ контроля делящихся материалов U-235 и Pu-239 и объектов их содержащих, в том числе ядерных U(Pu)-боезарядов в головках ракет, проводимого в рамках санкционированного контроля с помощью спектрометрического сцинтилляционного детектора гамма-излучения путем анализа спектров гамма-излучения проверяемых объектов с делящимися материалами, отличающийся тем, что контроль осуществляет проверяющая сторона в спектральном диапазоне 20 – 700 кэВ, причем проверяемая сторона перед началом санкционированного инспекционного контроля создает помехи измерениям, для чего устанавливает перед входом сцинтилблока сцинтилляционного детектора, принадлежащего проверяющей стороне, два дополнительных гамма-излучателя Ce-139 и Cs-137 и металлический ослабитель гамма-излучения в виде фигуры с переменным сечением, форма которого неизвестна проверяющей стороне.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Патент № 2441256 РФ. Сцинтилляционный детектор электронного и бета-излучения / А. Н. Черепанов, Ю. И. Чернухин, В. А. Терехин, Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, И. А. Гофман, А. А. Лещев, О. С. Тесленко. Заявл. 29.04.2010; опубл. 27.01.2012.

Реферат

Предложен сцинтилляционный детектор электронного и бета-излучения, для идентификации источников, электронного, бета-и позитронного излучений.

Суть изобретения: замедлитель электронов и сцинтиллятор выполнены в виде единого блока, представляющего собой сборку сцинтиллирующих волокон, расположенных перпендикулярно направлению распространения регистрируемого излучения, а фотоприемник выполнен в виде двухкоординатно-чувствительного фоторегистратора, например ПЗС-матрицы.

Технический результат: повышение точности определения энергетического распределения электронов в регистрируемом потоке.

Описание изобретения

Изобретение относится к области детекторов ионизирующих излучений, чувствительных к электронному и бета-излучению, предназначенных для определения энергии электронного и бета-излучения и применяемых в дозиметрической и таможенной практике для идентификации источников, электронного и бета-излучения, а также при работе с радиоизотопами в медицинской диагностике и терапии.

Известен сцинтилляционный детектор ядерных излучений (Патент *US* №3688118, кл. G01T 1/00, 1972), который содержит два сцинтилляционных детектора, один из которых чувствителен к заряженным частицам, к электронному и бета-излучению и нейтронам, а второй сцинтилляционный детектор чувствителен только к заряженным частицам, к электронному и бета-излучению. Однако ни один из этих сцинтилляционных детекторов электронного и бета-излучения не пригоден для идентификации их энергии, поскольку каждый из них работает только в счетном режиме.

Известны сцинтилляционные детекторы электронного и бета-излучения на основе органических материалов (Шрам Э., Ломбер Р. Органические сцинтилляторы. М.: Атомиздат, 1967. 184 с). Органические сцинтилляторы, уступая неорганическим по термической устойчивости, обладают рядом преимуществ: они обладают малой длительностью сцинтилляции и являются быстрыми сцинтилляторами нано- и пикосекундного диапазона. Они, в отличие от неорганических сцинтилляторов, пригодны для регистрации супермягкого электронного и бета-излучения. Однако органические сцинтилляционные детекторы работают в счетном режиме и не обеспечивают спектрометрии электронного и бета-излучения. Использование органических сцинтилляторов в сцинтилляционных спектрометрах ограничено из-за их крайне низкого энергетического разрешения (несколько десятков процентов) и из-за необходимости применения сложных спектрометрических электронных трактов.

Известен сцинтилляционный детектор электронного и бета-излучения в виде последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и световода из органического водородсодержащего вещества-сцинтиллятора на основе стилибена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрому нейтронам, а также электронному и бета-излучению (Патент *RU* №2088952, кл. G01N 1/20, 1997). Однако известный сцинтилляционный детектор по патенту *RU* №2088952 применяется только в счетном режиме. Возможность его применения для определения энергии электронного и бета-излучения ограничена из-за низкого энергетического разрешения используемых в нем материалов: энергетическое разрешение кристаллов $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ обычно составляет 15 – 20%, а органического компонента сцинтилляционного детектора – десятки процентов. Кроме того,

известный сцинтилляционный детектор для определения энергии требует применения сложного спектрометрического электронного тракта.

Известен сцинтилляционный детектор, в частности, сцинтилляционный детектор электронного и бета-излучения (Патент *US* №5514870, кл. G01T 001/202; G01T 001/203, 1996). Сцинтилляционный детектор содержит чистый кристалл CsI и быстрый пластический сцинтиллятор NE102A. В качестве фотоприемника используют фотоумножитель. При регистрации падающей радиации световые сцинтилляции от обоих сцинтилляторов – пластика и кристалла CsI, поступают на фотоумножитель, сигналы от которого обрабатываются электронным трактом. Однако тракт обработки сигналов известного детектора оказывается сложным. Он включает в себя анализатор импульсов, временной селектор с короткими и длинными временными воротами. Детектор при анализе вида падающей радиации обеспечивает высокое временное разрешение (3 нс), задаваемое пластиком. Однако при определении энергии падающего электронного или бета-излучения временное разрешение детектора оказывается недостаточно высоким, для чистого кристалла CsI оно составляет 30 нс.

Известен сцинтилляционный детектор электронного и бета-излучения, описанный в работе (В.Прайс. Регистрация ядерного излучения. М.: ИИЛ, 1960. 464 с). Детектор содержит сцинтиллятор, фотоприемник и тракт обработки сигналов. В качестве сцинтиллятора в известном устройстве применяют кристаллы антрацена, обладающие малым временем высвечивания (до 4 нс) и не требующие в отличие от кристаллов NaI:Tl герметичной упаковки. В качестве фотоприемника применяют фотоэлектронный умножитель. Сцинтиллятор выбирается такого размера, чтобы его площадь равнялась площади катода торцевого фотоумножителя, а толщина – пробегу бета-частиц с максимальной энергией. Тракт обработки сигналов известного сцинтилляционного бета-спектрометрического детектора содержит блок анализатора, который регистрирует только импульсы, соответствующие пику полной энергии и анализирует формируемый амплитудный спектр, а так же содержит сложную схему, которая корректирует получаемый амплитудный спектр из-за нелинейной зависимости световых выхода антрацена от энергии электронного и бета-излучения при энергиях ниже 100 кэВ. Недостатком известного устройства является постоянная толщина выбранного сцинтиллятора, равная, по крайней мере, пробегу бета-частиц с максимальной энергией, что делает его малоприменимым, если требуются измерения бета-источников других типов с более жестким спектром, т. е. с большей максимальной энергией. Недостатком является также наличие сложной схемы анализатора и коррекции сигналов.

Наиболее близким к заявляемому является сцинтилляционный детектор электронного и бета-излучения (Пат. 2251124 от 14.10.2003), который состоит из клинообразного поглотителя излучения вогнутой формы, сцинтиллятора в виде одномерного сцинтилляционного экрана, фотоприемника в виде одномерной фоточувствительной линейки и тракта обработки сигналов. Электронное или бета-излучение в известном детекторе попадает на клинообразный поглотитель излучения и проникает сквозь него на глубину, не превышающую максимальный экстраполированный пробег электронов (бета-частиц) для данной энергии. Прошедшее сквозь поглотитель излучение попадает на сцинтиллятор, обеспечивая его свечение и загрузку, находящегося в оптическом контакте с ним фотоприемника. Благодаря клинообразной форме поглотителя свечение сцинтиллятора и соответственно загрузка фотоприемника имеет место от начала (нулевой толщины) клина до некоторого предела, соответствующего определенной толщине клина, по которому и можно определить максимальную энергию падающего излучения. Таким образом, координата крайней светящейся ячейки сцинтилляционного экрана соответствует некоторой максимальной энергии регистрируемого излучения. Фоторегистрирующее устройство и тракт обработки сигналов определяют крайнюю светящуюся ячейку сцинтилляционного экрана путем сравнения сигнала от каждой ячейки фотореги-

стрирующей линейки с сигналом, соответствующим пороговому значению, адекватному фону. Однако известный детектор электронного и бета-излучения, имея относительно простой тракт обработки сигналов, обладает и принципиальным недостатком, связанным с тем, что движение электронов ионизирующего излучения при их замедлении внутри клинообразного замедлителя происходит не по прямолинейной, а по сложной ломанной траектории. По этой причине крайняя светящаяся точка сцинтилляционного экрана может лишь качественно (очень неточно) указывать на энергию регистрируемых электронов. Особенно высокие неточности определения энергии электронного и бета-излучения известным детектором имеют место при малых энергиях электронных излучений, т. е. в области малых толщин клинообразного замедлителя. Таким образом, известный детектор электронного и бета-излучения имеет низкое энергетическое разрешение в широком диапазоне энергий регистрируемых излучений и не пригоден для спектрометрических измерений.

Задачей предлагаемого изобретения является создание технического решения детектора электронного и бета-излучения с относительно простым трактом обработки сигналов, обеспечивающего повышенную точность определения энергии электронного или бета-излучения.

Задача изобретения решается благодаря тому, что в предлагаемом техническом решении детектора электронного и бета-излучения замедлитель электронов и сцинтиллятор выполнены в виде единого блока из сборки сцинтиллирующих волокон, расположенных перпендикулярно направлению распространения регистрируемого излучения, а фотоприемник выполнен в виде двухкоординатно-чувствительного фоторегистратора, например ПЗС-матрицы.

Схема предлагаемого технического решения детектора электронного и бета-излучения представлена на фиг. 1.

Предлагаемый детектор электронного и бета-излучения состоит из сборки 1 сцинтилляционных волокон, двухкоординатно-чувствительного фоторегистратора 2 (например, ПЗС-матрицы), блока обработки сигналов 3 и светоотражающего зеркала 4. Сборка сцинтилляционных волокон 1 находится в оптическом контакте с фоторегистратором 2 и зеркалом 3.

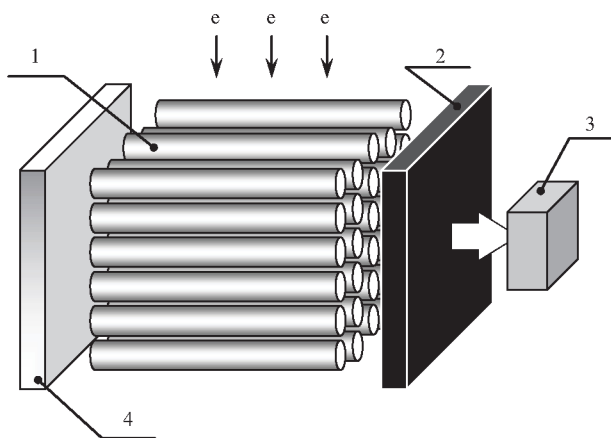
Предлагаемый детектор электронного и бета-излучения работает следующим образом. Электронное или бета-излучение попадает на сборку 1 сцинтилляционных волокон в направлении перпендикулярном расположению волокон, вызывая в волокнах появление сцинтилляционных вспышек. По мере проникновения электронного или бета-излучения вглубь сборки 1 сцинтилляционных волокон происходит уменьшение энергии регистрируемых электронов до такого уровня, при котором возникновение сцинтилляционных вспышек становится невозможным. Толщина сборки 1 сцинтилляционных волокон всегда выбирается больше максимального пробега регистрируемых электронов. Сцинтилляционные вспышки, возникшие в волокнах сборки 1, по этим же волокнам передаются в двухкоординатно-чувствительный фоторегистратор 2, находящийся в оптическом контакте с одним из торцов сцинтилляционных волокон сборки 1. Другие торцы волокон сборки 1 находятся в оптическом контакте со светоотражающим зеркалом 4, которое повышает светосбор сцинтилляционных вспышек на фоторегистраторе 2. Таким образом, в результате попадания электронного или бета-излучения на сборку 1 сцинтилляционных волокон на фотоприемнике 2 возникает двумерная яркостная картина, позволяющая достаточно точно судить об энергетическом распределении электронов в регистрируемом потоке. Несмотря на то, что движение электронов ионизирующего излучения при их замедлении внутри сборки волокон происходит не по прямолинейной, а по сложной ломанной траектории, точность определения энергии электронов в предлагаемом детекторе оказывается выше, чем, например, в случае известного детектора с клинообразным замедлителем (Пат. 2251124 от 14.10.2003), поскольку, во-первых, свето-

сбор сцинтилляций происходит в параллельных каналах, формируемых отдельными волокнами по всей ширине регистрируемого потока ионизирующего излучения, а, во-вторых, получаемая двумерная картина позволяет вести более точный анализ энергетического распределения электронов в регистрируемом потоке излучения. Сигнал с фоторегистратора 2 считывается блоком обработки сигналов 3.

Дополнительным преимуществом предлагаемого сцинтилляционного детектора электронного и бета-излучения является возможность регистрации не только электронного и бета-, но и позитронного излучения.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор электронного и бета-излучения, включающий замедлитель электронов, сцинтиллятор, фотоприемник и тракт обработки сигналов, отличающийся тем, что замедлитель электронов и сцинтиллятор выполнены в виде единого блока из сборки сцинтиллирующих волокон, расположенных перпендикулярно направлению распространения регистрируемого излучения, а фотоприемник выполнен в виде двухкоординатно-чувствительного фоторегистратора.



Фиг. 1.

Патент. №. 2445646 РФ. Рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов / А. Н. Черепанов, Б. В. Шульгин, И. И. Мильман, А. В. Кружалов, Ю. Ю. Упорова, Т. С. Королева, М. М. Кидибаев. Заявл. 11.06.2008, опубл. 20.03.2012. Бюл. № 35.

Реферат

Использование: для стационарного контроля плотности потока и флюенсов нейтронов в активной зоне ядерных реакторов, для периодического контроля доз нейтронного облучения реакторных конструкционных материалов, для решения задач радиационного материаловедения, для использования в качестве детекторов сопровождения изделий и материалов медицинского назначения при их стерилизации в ядерном реакторе, а также для высокотемпературных измерений флюенсов нейтронов в сверхглубоких скважинах.

Сущность изобретения заключается в том, что предлагаемое рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов, содержащие ингредиенты: NaF, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, ScF_3 , CuF_2 , дополнительно содержит фторид лития при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): LiF 99,887–99,988, NaF 0,0005–0,002, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,006–0,01, ScF_3 0,005–0,1, CuF_2 0,0005–0,001.

Технический результат: предлагаемое рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов имеет основной рабочий пик ТСЛ в высокотемпературной области при 520 – 525°C, интенсивность которого превышает интенсивность пиков ТСЛ известных термолуминофоров в десятки раз. Оно устойчиво к флюенсам нейтронов ядерного реактора до 10^{16} – 10^{18} см⁻², запасает под действием нейтронов светосумму, имеет малый фединг и способно хранить светосумму (дозиметрическую информацию) в течение нескольких лет.

Описание изобретения

Изобретение относится к области дозиметрии нейтронного излучения и может быть пригодно для стационарного контроля плотности потока и флюенсов нейтронов в активной зоне ядерных реакторов, для периодического контроля доз нейтронного облучения реакторных конструкционных материалов для решения задач радиационного материаловедения, связанных с контролем доз внутриреакторного облучения испытуемых изделий и материалов, пригодно для использования в качестве детекторов сопровождения изделий и материалов медицинского назначения, подлежащих стерилизации в ядерном реакторе, в качестве датчиков для стационарных и аварийных систем контроля ядерных реакторов атомных электростанций, для высокотемпературных измерений флюенса нейтронов стационарных, транспортных и импульсных ядерных реакторов, а также для высокотемпературных измерений флюенсов нейтронов в сверхглубоких скважинах.

Известно рабочее вещество для термолюминесцентного детектора рентгеновского излучения и электронов на основе кристаллов LiF:U,Cu, LiF:U,Sr, NaF:U,Sr и способ его получения (А.И.Слесарев, А.А.Жамангулов, М.М.Кидибаев, В.С.Кортов, Б.В.Шульгин / Термостимулированная экзoeлектронная эмиссия кристаллов фторидов лития и натрия, активированных ураном // Письма в ЖТФ, 2000, том 20, вып.9, с.60 – 62). В этих кристаллах, имеющих составы LiF:U,Cu, LiF:U,Sr, NaF:U,Sr и выращенных из расплава по способу Киропулоса, после облучения электронами или рентгеновским излучением, наряду с термостимулированной экзoeлектронной эмиссией (ТСЭЭ), наблюдалась при примерно одних и тех же температурах и термостимулированная люминесценция (ТСЛ) с наиболее высокотемпературными пиками при 610K (337°C) и 714K (441°C) для LiF:U,Cu; при 699K (426°C) и 737K (464°C) для LiF:U,Sr. Для NaF:U,Sr наиболее высокотемпературный пик обнаружен при 702K (429°C). Однако для известных рабочих ве-

ществ для термолюминесцентной дозиметрии с составами LiF:U,Cu, LiF:U,Sr, NaF:U,Sr сведения об их возможных термолюминесцентных свойствах после нейтронного облучения отсутствуют. Кроме того, обнаруженные пики ТСЛ для известных рабочих веществ для термолюминесцентных детекторов расположены при недостаточно высоких температурах не выше 464°C, так что известные рабочие вещества не пригодны для высокотемпературной (с требуемыми пиками ТСЛ при температуре более > 500°C) дозиметрии флюенсов нейтронов ядерного реактора.

Известны рабочие вещества для термолюминесцентной дозиметрии электронного излучения на основе кристаллов NaF, а именно, NaF:U, NaF:Sr, NaF:Cu, NaF:Pb, NaF:U, NaF:U,Ti и NaF:U,Cr (М.М.Кидобаев, В.К.Дзholdoshov, Т.С.Королева, А.И.Слесарев, В.В.Шулгин, В.Ю.Иванов, А.Н.Тчерепанов, С.Педрини, К.Леббон / TSEE (and TSL) of NaU-U, Me compounds after electron beam irradiation // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. науч. тр. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. Вып.23. С. 187-192). Однако для всех вышеперечисленных известных рабочих веществ термолюминесцентных детекторов электронного излучения, пики ТСЛ расположены при температурах, недостаточно высоких для обеспечения высокотемпературных измерений доз излучения. Например, для NaF:U наблюдается 11 пиков ТСЛ, но самый высокотемпературный зафиксирован при 736K (463°C). Однако о возможности их применения для дозиметрии нейтронов в известном источнике не упоминается, поскольку сведений о чувствительности этих составов к нейтронам не имеется.

Известны спектры поглощения и спектры импульсной катодолуминесценции составов LiF, LiF:Sc, LiF:U, NaF, NaF:Eu, NaF:Sr, NaF:Yb, NaF:0,01%U, NaF:0.1%U, NaF:U,Ti, облученных нейтронами с реактора с флюенсом 10^{16} см^{-2} (В.В.Шулгин, В.Ю.Иванов, А.Н.Тчерепанов, В.Л.Петров, А.В.Анипко, Ф.Г.Нешов, М.М.Кидобаев, Т.С.Королева, В.И.Соломонов, О.А.Каigorodova / Neutron, ion and electron Induced defects In activated LiF and NaF Srugle crystals // phys.stat.sol. (c) vol. 4, № 3, 1126-1129 (2007)). Однако в известном источнике нет даже упоминания о термолюминесцентных свойствах этих составов после облучения их нейтронами и о возможности использования этих составов в качестве рабочих веществ для термолюминесцентных детекторов.

Известно рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов на основе ${}^6\text{LiF}$ (с обогащением по изотопу ${}^6\text{Li}$) - это термолюминесцентный детектор TLD-700 (Horowitz Y.S et. al. Limitation of the paired LiF TLD 600, 700 Technique for The estimation of gamma ray dose In mixed n- γ radiation fields: The effect of thermal neutrons. – Nucl. Instr. and Methods, 1970. V.160, p.317–320). Однако известный детектор TLD-700 предназначен для регистрации только тепловых нейтронов (ядерная реакция ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$). Он является почти идеальным детектором тепловых нейтронов для задач персональной дозиметрии. Однако он не применяется для внутриреакторной дозиметрии, поскольку в спектре нейтронов деления доминируют быстрые нейтроны. Известные рабочие вещества TLD-600, TLD-700 непригодны для высокотемпературной (с требуемыми пиками ТСЛ при температуре > 500°C) дозиметрии нейтронов, поскольку их рабочие пики ТСЛ расположены при $T < 350^\circ\text{C}$.

Известны рабочие вещества для термолюминесцентных детекторов тепловых нейтронов на основе фторидных и оксидных систем (И. Х. Шавер, В.Г.Кронгауз / Термолюминесцентный метод дозиметрии нейтронов // Люминесцентные приемники и преобразователи ионизирующего излучения. Новосибирск. Наука. Сибирское отделение. 1985. С.61–72; Oberhofer M., Jaspert J./ Radiation Dosimeter. – G.B. Patent № 1180246, 1970. MPK G01T-1/100). Это составы на основе LiF, ${}^6\text{LiF}$, ${}^7\text{LiF}$, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{-Mn}$, LiF-Mg,Ti, $\text{CuSO}_4\text{-Tm}$, $\text{CaF}_2\text{-Mn}$, $\text{CaF}_2\text{-Dy}$, CaF_2 природный, BeO, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{-Tb}$, Al_2O_3 , стекла, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7\text{-Dy}$ и LiF-LiH по G.B.Patent. Однако для известных рабочих веществ для термолюминесцентных детекторов (ТЛД) нейтронов пики ТСЛ обнаружены при невысоких температурах – ниже 350°C . Это удобно для персональной дозиметрии, однако, такие

детекторы непригодны для высокотемпературных измерений флюенсов нейтронов. Они непригодны для использования в качестве ТЛД детекторов с длительным (годы) сроком хранения дозиметрической информации при повышенных температурах (аварийный режим) хранения детекторов. Они непригодны для измерения флюенсов нейтронов в сверхглубоких скважинах при рабочих температурах в скважинах от 400°C и выше.

Известно рабочее вещество для термолуминесцентного детектора нейтронов на основе кристаллов NaF:U и LiF:U (Б.В.Шульгин, И.И.Мильман, А.В.Кружалов, А.Н.Черепанов, Ю.Ю.Упорова, М.М.Кидибаев, Т.С.Королева / О термолуминесценции кристаллов NaF:U, облученных реакторными нейтронами // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз.сб.науч.тр. Екатеринбург. УГТУ-УПИ. 2008. Вып.24. С. 161–164). Однако наиболее высокотемпературный пик ТСЛ для кристаллов LiF:U зафиксирован при ~395°C, то есть кристаллы LiF:U, согласно известному источнику, непригодны для высокотемпературной (пики ТСЛ при температурах > 500°C) дозиметрии нейтронов.

Наиболее близким к заявляемому является рабочее вещество для термолуминесцентного детектора нейтронов, имеющее состав (мол. %): NaF 99,887–99,988, UO₂(NO₃)₂ 0,001 – 0,01, ScF₃ 0,01 – 0,1, CuF₂ 0,001 – 0,003 (Черепанов А.Н., Шульгин Б.В., Мильман И.И., Кружалов А.В., Упорова Ю.Ю., Ищенко А.В., Королева Т.С., Кидибаев М.М. / Заявка на изобретение № 2008105155 от 11.02.2008, МПК G01T 1/00, 1/20, 3/06). Известное рабочее вещество для термолуминесцентного детектора нейтронов на основе кристаллов фторидов имеет высокотемпературный пик ТСЛ при T = 520 – 525°C, оно пригодно для высокотемпературной дозиметрии нейтронов, однако, оно обладает невысокой интенсивностью пиков ТСЛ.

Задачей изобретения является разработка рабочего вещества для термолуминесцентного детектора нейтронов, устойчивого к высоким флюенсам нейтронов, пригодного для эксплуатации в активной зоне ядерного реактора, для использования в целях дозиметрии нейтронов в радиационных полях с высокой температурой, а также пригодного для длительного (в течение нескольких лет) хранения дозиметрических данных, но обладающего более интенсивным высокотемпературным рабочим пиком ТСЛ (при температурах выше 500°C), то есть обладающего более высокой чувствительностью к нейтронам, нежели известное рабочее вещество.

Поставленная задача решается за счет того, что предлагаемое рабочее вещество для термолуминесцентного детектора нейтронов, содержащие ингредиенты: NaF, UO₂(NO₃)₂, ScF₃, CuF₂, дополнительно содержит фторид лития при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): LiF 99,887–99,988, NaF 0,0005–0,002, UO₂(NO₃)₂ 0,006–0,01, ScF₃ 0,005–0,1, CuF₂ 0,0005–0,001.

Суть изобретения заключается в том, что в качестве основы рабочего вещества используют фторид лития, который в сочетании с ингредиентами NaF, UO₂(NO₃)₂, ScF₃, CuF₂, при их определенном соотношении обеспечивает наиболее высокую интенсивность пика ТСЛ при 520 – 525°C, превышающую интенсивность высокотемпературного пика ТСЛ известного рабочего вещества в десятки раз.

Пример 1. Рабочее вещество для термолуминесцентного детектора нейтронов, имеющее состав (мол. %): LiF 99,887, NaF 0,002, UO₂(NO₃)₂ 0,01, ScF₃ 0,1, CuF₂ 0,001. Для получения рабочего вещества смесь исходных ингредиентов тщательно перемешивают, расплавляют в платиновом тигле и из нее выращивают рабочее вещество в виде монокристалла методом Киропулоса на воздухе. Выращенный монокристалл раскалывают на пластинки-таблетки. Полученное рабочее вещество для термолуминесцентного детектора применяют в виде пластинок-таблеток (диаметр 5 мм, толщина 1 мм). При облучении рабочего вещества быстрыми нейтронами спектра деления (нейтронами активной зоны ядерного реактора) до флюенса 10¹⁶ см⁻² в нем запасается светосумма. После хранения рабочего вещества в течение двух лет при его нагревании (при скорости нагре-

ва 1,99°С/с) была высвечена запасенная при облучении нейтронами светосумма в виде термостимулированной люминесценции с рабочим пиком ТСЛ при температуре 520 – 525°С, фиг. 1. В кривых термовысвечивания наблюдается также слабый пик ТСЛ при 170°С, однако его интенсивность не превышает 5% от интенсивности основного рабочего пика ТСЛ. Для предлагаемого рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов интенсивность основного пика ТСЛ при 520 – 525°С превышает интенсивность пика ТСЛ для прототипа, фиг. 2, в ~50 раз.

Пример 2. Рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов, имеющее состав (мол. %): LiF 99,988, NaF 0,0005, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,006, ScF_3 0,005, CuF_2 0,0005. Для получения рабочих веществ смесь исходных ингредиентов тщательно перемешивают, расплавляют в платиновом тигле и из нее выращивают рабочее вещество в виде монокристалла методом Киропулоса на воздухе. Выращенный монокристалл раскалывают на пластинки-таблетки. Полученное рабочее вещество для термолюминесцентного детектора применяют в виде кристаллических пластинок-таблеток (диаметр 5 мм, толщина 1 мм). При облучении рабочего вещества быстрыми нейтронами спектра деления (нейтронами активной зоны ядерного реактора) до флюенса $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ в нем запасается светосумма. После хранения рабочего вещества в течение двух лет при его нагревании была высвечена запасенная при облучении нейтронами светосумма в виде термостимулированной люминесценции с основным пиком ТСЛ при температуре 520 – 525°С. Вид кривых ТСЛ соответствует виду кривых ТСЛ, приведенных в Примере 1, фиг. 1. Скорость нагрева рабочего вещества в Примере 2 и далее такая же, как и в Примере 1: 1,99°С/с. Наблюдается также слабый пик ТСЛ при 170°С, однако его интенсивность не превышает 5% от интенсивности основного рабочего пика ТСЛ. Для предлагаемого рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов интенсивность основного пика ТСЛ при 520 – 525°С превышает интенсивность пика ТСЛ для прототипа, фиг. 2, в 53 раза.

Пример 3. Рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов, имеющее состав (мол. %): LiF 99,948, NaF 0,001, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,01, ScF_3 0,04, CuF_2 0,001. Для получения рабочего вещества смесь исходных ингредиентов тщательно перемешивают, расплавляют в платиновом тигле и из нее выращивают рабочее вещество в виде монокристалла методом Киропулоса на воздухе. Выращенный монокристалл раскалывают на пластинки-таблетки. Полученное рабочее вещество для термолюминесцентного детектора применяют в виде кристаллических пластинок-таблеток (диаметр 5 мм, толщина 1 мм). При облучении рабочего вещества быстрыми нейтронами спектра деления (нейтронами активной зоны ядерного реактора) до флюенса $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ в нем запасается светосумма. После хранения рабочего вещества в течение двух лет при его нагревании была высвечена запасенная при облучении нейтронами светосумма в виде термостимулированной люминесценции с основным рабочим пиком ТСЛ при температуре 520 – 525°С. Вид кривых ТСЛ для этого состава соответствует виду кривых ТСЛ, приведенных в Примере 1, фиг. 1. Для предлагаемого рабочего вещества для термолюминесцентного детектора нейтронов интенсивность основного рабочего пика ТСЛ при 520 – 525°С превышает интенсивность пика ТСЛ для прототипа, фиг. 2, в 45 – 50 раз.

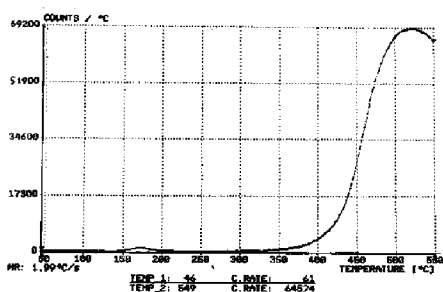
Пример 4. Рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов, имеющее состав (мол. %): NaF 99,948, LiF 0,001, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,01, ScF_3 0,04, CuF_2 0,001. Для получения рабочего вещества смесь исходных ингредиентов тщательно перемешивают, расплавляют в платиновом тигле и из нее выращивают рабочее вещество в виде монокристалла методом Киропулоса на воздухе. Выращенный монокристалл раскалывают на пластинки-таблетки. Полученное рабочее вещество для термолюминесцентного детектора применяют в виде кристаллических пластинок-таблеток (диаметр 5 мм, тол-

щина 1 мм). При облучении рабочего вещества быстрыми нейтронами спектра деления (нейтронами активной зоны ядерного реактора) до флюенса 10^{16} см^{-2} в них запасается светосумма. После хранения рабочего вещества в течение двух лет при его нагревании была высвечена запасенная при облучении нейтронами светосумма в виде термостимулированной люминесценции с основным рабочим пиком ТСЛ при температуре 450 – 520°C, однако его интенсивность была очень низкой, на уровне интенсивности пиков ТСЛ прототипа, фиг. 2.

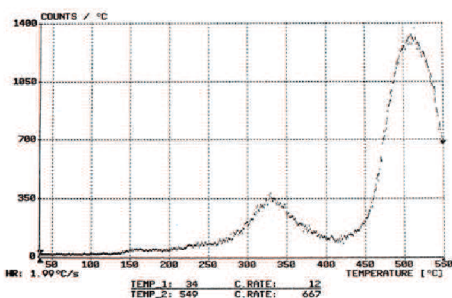
Предлагаемое рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов обладает высокотемпературным рабочим пиком ТСЛ при температуре 520 – 525°C. Оно устойчиво к флюенсам нейтронов до 10^{16} – 10^{17} см^{-2} и выше, имеет малый фединг и, соответственно, способно хранить дозиметрическую информацию в течение нескольких лет (проверено для 3 лет). Рабочее вещество обладает весьма интенсивным высокотемпературным пиком ТСЛ, превышающим интенсивность рабочего пика ТСЛ для прототипа в десятки раз, и, соответственно, обладает повышенной чувствительностью к флюенсам нейтронов. Предлагаемое рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов пригодно для использования в дозиметрических целях в активной зоне ядерного реактора, пригодно для эксплуатации при высоких температурах в горячих камерах, хранилищах и складах отработанного ядерного топлива. Оно пригодно также для работы в сверхглубоких скважинах с высокими рабочими температурами.

Формула изобретения

Рабочее вещество для термолюминесцентного детектора нейтронов, содержащее фторид натрия NaF, нитрид урана $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, фторид скандия ScF_3 и фторид меди CuF_2 , отличающееся тем, что оно дополнительно содержит фторид лития при следующем соотношении ингредиентов (мол. %): LiF 99,887–99,988, NaF 0,0005–0,002, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 0,006–0,01, ScF_3 0,005–0,1, CuF_2 0,0005–0,001.



Фиг. 1



Фиг. 2

Свидетельство 1756 РФ на полезную модель. Волоконно-оптический трековый детектор / Л. Ф. Гаврилов, Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин, Г. А. Китаев, В. В. Жуков, Л. В. Викторов. Заявл. 31.05.1994, опубл. 16.02.1996. Бюл. №2.

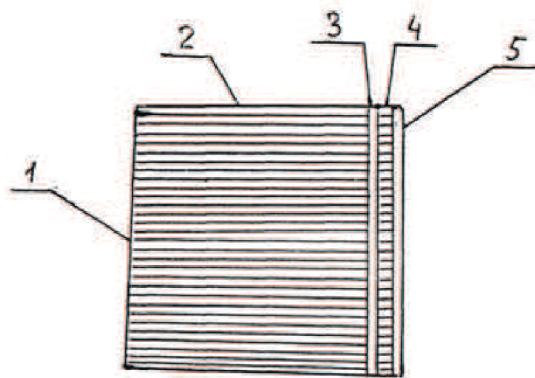
Реферат

Сущность заявляемой полезной модели заключается в следующем. На фиг. 1 показан разрез заявленного устройства. Сборка сцинтиллирующих волокон 1 заключена в непрозрачный кожух 2 и оптически присоединена к фотокатоду 3 электронно-оптического преобразователя (ЭОП) с микроканальной пластиной 4 и фосфоресцирующим анодом 5. Устройство работает следующим образом. В отсутствие частиц больших энергий в волокнах не происходит сцинтилляций и выходной экран ЭОП практически не светится, поскольку шумы микроканальной пластины незначительны. При попадании частицы большой энергии в сборку волокон с торца или через боковую поверхность, она взаимодействует по пути прохождения с веществом волокон, вызывая сцинтилляционные вспышки в них. Свет вспышек распространяется вдоль волокон и попадает на фотокатод ЭОП, вырывая из него фотоэлектроны в соответствующих местах. Ток фотокатода умножается микроканальной пластиной в 10 000 раз. Умноженные микроканальной пластиной электроны попадают на флуоресцирующий анод, вызывая его свечение, отображающее трек частицы. Наблюдение треков можно осуществлять визуально с помощью фотокамеры и с помощью телевизионной установки. Предложенный волоконно-оптический детектор обеспечивает пространственное разрешение не хуже 0,1 мм. Время высвечивания сцинтилляционной вспышки не превышает 40 нс.

Формула полезной модели

1. Волоконно-оптический трековый детектор, включающий чувствительный объем и электронно-оптический преобразователь, отличающийся тем, что чувствительный объем состоит из сцинтилляционных волокон на основе галогенидов серебра при диаметре волокна 0,05 мм, а в качестве усилителя света применяют электронно-оптический преобразователь с микроканальной пластиной.

2. Детектор по п.1, отличающийся тем, что боковые поверхности сцинтилляционных волокон покрыты светоотражающей пленкой.



Фиг. 1

Патент № 98823 РФ на полезную модель. Мобильный комплекс радиационного контроля / А. С. Шеин, Л. В. Викторов, В. Л. Петров, Б. В. Шульгин. Заявл. 09.03.2010, опубл. 27.10.2010. Бюл. №30.

Реферат

Мобильный комплекс радиационного контроля, содержащий транспортное средство, сканирующий гамма-детектор, промышленный компьютер, связанный со спутниковой навигационной системой, электронный блок связи компьютера с периферийным оборудованием, может быть использован для поиска и локализации обнаруженных источников ионизирующих излучений (ИИИ) в случаях радиационных аварий, или в случаях незаконного (несанкционированного) обращения с ИИИ или с радиоактивными отходами. Отличие мобильного комплекса радиационного контроля заключается в том, что он дополнительно содержит несканирующий широкоугольный гамма-детектор, связанный через блок связи с компьютером, а также видеоканал, содержащий видеокамеру и устройство оцифровки видеоизображения, причем сканирующий гамма-детектор выполнен с углом поля зрения $\leq 30^\circ$ и с диапазоном углов сканирования не более 180° . Технический результат, который может быть достигнут при реализации заявленного решения, состоит в повышении точности локализации объекта поиска – ИИИ – при одновременном снижении вероятности пропуска ИИИ и обеспечении высокой чувствительности комплекса. Кроме того, использование предлагаемой модели позволяет существенно упростить конструкцию сканирующего гамма-детектора и обеспечить безопасность эксплуатации транспортного средства.

Описание полезной модели

Полезная модель относится к области радиационного контроля с использованием сцинтилляционных детекторов и предназначена для обнаружения и локализации источников ионизирующих излучений (ИИИ) в случаях радиационных аварий, или в случаях утери или преднамеренного (злоумышленного) вывоза и захоронения ИИИ, либо в других случаях незаконного (несанкционированного) обращения с ИИИ или с радиоактивными отходами.

Актуальность указанной задачи следует из анализа материалов международных учений по линии МЧС – Barents Rescue 2001, Швеция [1], а также материалов ряда международных совещаний, в частности, ППСР–2009 [2].

Известны разнообразные мобильные комплексы радиационного контроля (КРК) [3–5], размещенные на автомобиле и предназначенные для решения задач радиационного контроля и (или) организации радиационной разведки. К числу таковых устройств относится мобильный комплекс радиационного контроля «Янтарь-МА», изготавливаемый НПЦ «Аспект» [3], который построен на базе пластмассовых сцинтилляционных гамма-детекторов в форме прямоугольных параллелепипедов. Причем последние снабжаются простыми плоскими свинцовыми экранами, размещаемыми сзади и по периметру сцинтиллятора, и, потому имеют широкую диаграмму направленности (угол поля зрения порядка 180°).

Близким к [3] по устройству и принципу работы является КРК [4], который обладает большей чувствительностью по сравнению с [3] за счет применения большого количества детекторов (по 3 шт. по каждому борту) и специальных алгоритмов обнаружения [6, 7].

Ещё большей чувствительностью обладает мобильный КРК [5], размещаемый в кузове автомобиля КАМАЗ, и содержащий 9 пластмассовых сцинтилляционных детекторов, которые могут разворачиваться и фиксироваться для наблюдения гамма-излучения по любому (правому, левому или заднему) бортам. Для обеспечения работы комплекса [5] используются те же алгоритмы [6, 7], что и для [4].

Основными общими недостатками указанных выше мобильных комплексов [3-5] являются сильная зависимость результатов контроля от пространственных флуктуаций гамма-фона (т. е. флуктуаций, связанных с изменением местонахождения движущегося КРК), а также низкая точность локализации обнаруженного ИИИ, т. е. большая погрешность определения местоположения ИИИ.

Особо следует остановиться на проблеме флуктуаций гамма-фона. Суть указанной проблемы была подробно описана авторами настоящей заявки ранее [8], и заключается в следующем.

Многочисленные исследования свидетельствуют о весьма сильной зависимости уровня гамма-фона от конкретной координаты точки, в которой выполняются измерения. Таковая зависимость связана с известными особенностями природы гамма-фона, описанными в литературе. Указанный фактор, как правило, весьма значим в регионах, где имеются выходы скальных пород на поверхность. В таковых регионах наблюдаются весьма значительные и резкие изменения уровня гамма-фона, регистрируемого мобильным комплексом КРК в процессе движения по так называемым «грунтовым» дорогам. Аналогичные флуктуации наблюдаются также при перемещении КРК по дорогам с улучшенным покрытием, для строительства которых используют строительные материалы, сильно различающиеся по уровню радиационной загрязненности. По нашим данным, зачастую в «подушке» дорог используется щебень, дающий 3-5-кратное превышение уровня фонового излучения по отношению к среднему фону вне дороги. (Следует отметить, что таковой повышенный уровень излучения строительных материалов, используемых для строительства дорог, допускается существующими государственными стандартами, в частности, ОСПОРБ-99). Аналогично может регистрироваться повышенное излучение от различных дорожных сооружений: мостов, опор путепроводов дорожных развязок, эстакад, а также от различных придорожных объектов, в частности, от бетонных столбов с осветительными лампами.

В качестве примеров на рис. П1, П2 приложения 1 показаны зависимости скорости счета от времени для различных условий, измеренные при помощи счетного гамма-канала мобильного комплекса «Соратник» [5]. Комментарии приведены под рисунками. Из рисунков видно, насколько сильны флуктуации гамма-фона на некоторых участках федеральной трассы М5. Причем многочисленные «всплески» гамма-фона, обусловленные придорожными сооружениями, имеют большую амплитуду и зачастую совпадают по длительности с сигналами от искомым ИИИ. Происхождение большинства из указанных «всплесков» может быть выявлено путем сопоставления с синхронными видеокадрами, если в комплексе предусмотрено использование видеокамеры, работающей в непрерывном режиме и синхронизированной с процессом измерений. Таковое сопоставление результатов измерений гамма-излучения и видеоряда с привлечением данных от спутниковой навигационной системы (СНС) выполняется обычно в режиме off-line [5]; однако и указанная процедура сопоставительного анализа не обеспечивает требуемую надежность обнаружения (требуемое значение вероятности обнаружения ИИИ).

Таким образом, описанная проблема, связанная с флуктуациями гамма-фона при движении по дорогам, весьма серьезно препятствует решению задач обнаружения источников гамма-излучения средствами мобильных КРК.

Что касается низкой точности локализации обнаруженного ИИИ средствами известных комплексов КРК, то она обусловлена следующим. При движении по трассе с жестко закрепленными детекторами можно определить только положение линии, перпендикулярной участку трассы, на которой может находиться обнаруженный ИИИ. Расстояние же от трассы до ИИИ может быть определено с весьма большой погрешностью, превышающей $\pm 50\%$, а если ещё учесть и широкую диаграмму направленности детекторов, используемых в известных КРК, то итоговая точность локализации, т. е. размеры «области неопределенности» с обнаруженным ИИИ, превышают значения 500 – 1000 м².

Наиболее близким к предлагаемой полезной модели является «Высокочувствительное сканирующее устройство для обнаружения и локализации источников гамма-излучения» [9]. Основу указанного устройства составляет сканирующий гамма-детектор (СкГД), размещенный на автомобиле. Кроме того, указанный прототип [9] содержит промышленный компьютер, предназначенный для обработки информации от СкГД и спутниковую навигационную систему (СНС).

В принципе применение способа сканирования при локализации обнаруженного ИИИ является полезным (продуктивным), поскольку очевидно, что при построении на некоторой плоскости двух прямых, показывающих направление от разных точек стояния КРК на источник ИИ, точка пересечения этих прямых и укажет местоположение ИИИ. Следовательно, можно полагать, что при использовании сканирующего гамма-детектора точность локализации обнаруженного ИИИ должна повыситься. Причем существенным достоинством применения СкГД является исключение пространственной составляющей флуктуаций гамма-фона, обусловленной влиянием излучения от самой дороги, что позволяет понизить пороги обнаружения.

В то же время устройство [9] обладает целым рядом принципиальных недостатков. В работе [9] не приведен параметр «угол поля зрения гамма-детектора» $\alpha_{ПЗ}$. Анализируя представленные в работе фотографии и эскизы элементов СкГД, можно утверждать, что указанный угол составляет величину порядка $\alpha_{ПЗ} \cong 90^\circ$. Такое большое значение угла $\alpha_{ПЗ}$ приводит к большой погрешности определения направления на источник и, в конечном счете, местоположения ИИИ. (Вопросы обоснования характеристик КРК, обеспечивающих требуемую точность локализации, подробнее описаны в Приложении 2). В работе [9] ничего не говорится о методике выполнения измерений. А выбор методики проведения обследования с помощью КРК непосредственно определяет требования к его основным техническим характеристикам и конструктивным особенностям. Автор работы [9] однозначно не указывает, осуществляется ли непрерывное сканирование окружающего пространства в процессе движения комплекса по выбранному маршруту или измерения выполняются при остановках в определенных точках. Из описания принципа работы устройства [9] следует, что гамма-детектор непрерывно вращается с довольно большой скоростью (1 оборот за 6 секунд), однако совершенно очевидно, что использование такого режима работы, по крайней мере, при первом обследовании трассы, может привести к большой вероятности пропуска.

Действительно, детальный анализ реальных, «обычно применяемых» параметров при сканировании в процессе перемещения по трассе показывает, что на траектории движения будут оставаться так называемые «мертвые зоны», которые и будут обуславливать высокую вероятность пропуска ИИИ. В частности, нетрудно убедиться, что даже при скорости движения комплекса около 20 км/ч источник, размещенный на расстоянии порядка ≤ 15 м от трассы, может быть пропущен комплексом-прототипом [9], даже если ИИИ довольно мощный (~ 1 ГБк). Соответственно, при увеличении скорости до «обычно практикуемой для КРК» на трассах – порядка 40 км/ч – размер таких «мертвых зон» увеличивается в 2 раза!

Автором работы [9] не обоснован выбор большой угловой скорости при сканировании и в стационарном состоянии КРК – 1 оборот за 6 с (т. е. 60 град/с). При такой скорости сканирования резко уменьшается чувствительность (т.к. полезный сигнал становится чрезвычайно коротким, длительностью менее 0,5 с). Следует особо отметить, что «высокочувствительным» комплекс, описанный в [9], назвать достаточно сложно. И автор сам этого не отрицает в тексте доклада, приводя в работе огромные значения активностей источников, обнаруживаемых с помощью комплекса [9] на расстояниях порядка 70 м – единицы и более ГБк. По нашим оценкам, комплекс, описанный в [4], способен обнаруживать подобные источники (1,2 ГБк) на расстоянии более 220 м, даже в условиях сильного влияния пространственных флуктуаций гамма-фона. (Но в то же время ав-

тор [9] почему-то называет свой КРК «высокочувствительным», см. заголовок его доклада).

Неудачные (непродуманные) методики выполнения измерений устройством СкГД привели автора [9] к неудачным конструкторским решениям. Также оценочно, из фото и схем, приведенных в [9], можно увидеть, что масса предлагаемого в [9] коллиматора составляет величину порядка 200 – 250 кг. Такую массу (да еще вращающуюся) устанавливать на крыше легкового автомобиля весьма нежелательно, даже если не принимать во внимание допустимые величины нагрузки на крышу автомобиля, т.к. при этом резко снижается безопасность эксплуатации транспортного средства.

Из анализа постановки задачи поиска (обнаружения) и локализации ИИИ очевидна противоречивость требований к углу поля зрения сканирующего гамма-детектора. Действительно, для решения задачи обнаружения ИИИ при первом обследовании трассы угол поля зрения детектора должен быть достаточно большим и составлять не менее 90° [5 – 7], с тем, чтобы обеспечить максимальную чувствительность и одновременно минимизировать вероятность пропуска. А для решения задачи локализации с требуемой точностью, как нетрудно показать, угол поля зрения СкГД должен быть довольно малым (< 30°). Подробности и аргументы по оценке требуемого угла поля зрения сканирующего детектора поисковых комплексов приведены в приложении 2.

Задачей предлагаемой полезной модели комплекса радиационного контроля (КРК) является обеспечение высокой чувствительности КРК и повышение точности локализации объекта обнаружения – источника ионизирующего излучения (ИИИ) – при одновременном снижении вероятности пропуска источника.

Для решения сформулированной задачи в состав комплекса предлагается дополнительно ввести несканирующий широкоугольный гамма-детектор, связанный через блок связи с компьютером, а также видеоканал, содержащий видеокамеру и устройство оцифровки видеоизображения, причем сканирующий гамма-детектор предлагается дополнить с углом поля зрения $\leq 30^\circ$ и с диапазоном углов сканирования не более 180° .

Блок-схема предлагаемой полезной модели представлена на фиг. 1. На блок-схеме (фиг. 1) широкими стрелками показаны электрические (информационные) связи, а штриховыми линиями – механические связи.

В схеме на фиг. 1 использованы следующие обозначения:

- 1 – электронный блок связи (БС) компьютера с периферийным оборудованием;
- 2 – промышленный компьютер;
- 3 – спутниковая навигационная система (СНС);
- 4 – сканирующий гамма-детектор;
- 5 – несканирующий широкоугольный гамма-детектор;
- 6 – видеоканал;
- 7 – транспортное средство.

Полезная модель оборудована спутниковой навигационной системой (СНС), связанной с компьютером. Видеоканал включает в свой состав видеокамеру, устройство оцифровки видеосигнала, устанавливаемое в свободный слот компьютера, и программное обеспечение, обеспечивающее управление видеокамерой и сохранение видеок кадров, синхронизированных с выполняемыми измерениями гамма-излучения, в базе данных.

В качестве детекторов для дополнительного несканирующего широкоугольного гамма-детектора предлагаемой полезной модели целесообразно использовать пластиковые счетные гамма-детекторы, аналогичные, например, детекторам типа БДПН [4], либо детекторам, используемым в комплексе [3] НПЦ «Аспект». Таковые детекторы отличаются большой площадью (обычно $80 \times 13 \text{ см}^2$), и следовательно – большой чувствительностью.

Предлагаемая полезная модель работает следующим образом. Вся процедура поиска и локализации разбивается на 2 этапа:

Поиск (обнаружение) ИИИ и грубая, предварительная локализация обнаруженного источника без использования сканирующего режима. На данном этапе комплекс при непрерывном движении со скоростью не более 20 км/ч регистрирует гамма-излучение вдоль трассы. При этом используется только несканирующий широкоугольный гамма-детектор. После проезда по некоторому заданному участку трассы выполняется обработка всей зарегистрированной информации в режиме off-line. Важно отметить, что с учетом описанного выше сильного влияния на уровень гамма-фона дорожного покрытия, и придорожных сооружений, на первом этапе поиска для «отфильтровывания» ложных сигналов используются данные от дополнительных информационных каналов, в том числе и от видео-канала, и данные СНС в сочетании с картографической информацией. Результатами анализа полученных данных работы КРК на 1-м этапе являются:

- точки по маршруту обследования, «подозрительные» в плане наличия ИИИ;
- оценочное значение расстояния r_0 от трассы до предполагаемой точки местонахождения ИИИ, определенное с погрешностью порядка $\pm 50\%$.

На втором этапе поиска по данным, полученным на 1-м этапе, с помощью сканирующего гамма-детектора выполняется повторное обследование «подозрительных» точек (координаты которых зафиксированы средствами СНС). Положения точек, из которых должно проводиться сканирование, выбираются на трассе до места обнаружения «подозрительной» точки с ИИИ и после нее, причем на расстоянии, не превышающем r_0 . Достаточно двух точек, из которых определяются направления (углы азимута) на предполагаемый ИИИ. Угловая скорость сканирования ω выбирается сравнительно небольшой (не более 0,5 – 1 град/с); конкретное значение ω устанавливается тем меньшее, чем меньшая амплитуда сигнала от предполагаемого ИИИ выявлена на 1-м этапе измерений. В результате сканирования получают две линии азимута на ИИИ, в точке пересечения которых расчетным путем (по данным СНС) определяется положение ИИИ. Далее перемещаются к следующей «подозрительной» точке и выполняют измерения, аналогичные описанным.

Использование предлагаемой полезной модели позволяет получить следующие преимущества по сравнению с прототипом [9]:

Из описания последовательности поиска с использованием предлагаемой полезной модели видно, что так называемые «мертвые зоны» в принципе отсутствуют, т. е. вероятность пропуска ИИИ сводится к минимуму.

Благодаря уменьшению угла поля зрения СкГД до значения порядка $\leq 30^\circ$ (приложение 2) использование предлагаемой полезной модели позволяет существенно снизить погрешность локализации обнаруженного ИИИ по сравнению с прототипом [9].

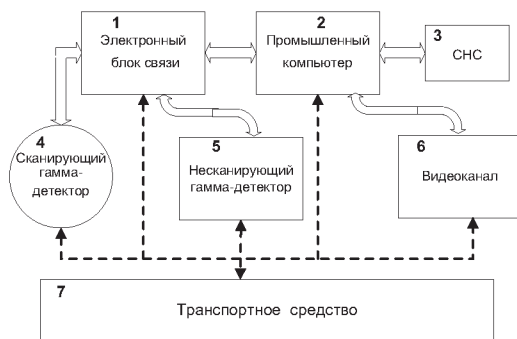
Из описанной последовательности работы предлагаемой полезной модели становится очевидным, что сканирование достаточно осуществлять по только борту наблюдения, т. е. диапазон углов поворота по азимуту – не более 180° . Следовательно, отпадает необходимость устанавливать СкГД на крыше транспортного средства для вращения в угле 2п. Такое техническое решение приводит к существенному упрощению конструкции КРК и повышению устойчивости транспортного средства.

Дополнительное преимущество предлагаемого технического решения, приводящее к упрощению конструкции СкГД, обусловлено тем, что в предлагаемой модели отпадает проблема обеспечения электрической связи вращающихся вокруг своей оси детекторов СкГД с блоком связи и компьютером. Предлагаемые технические решения проверены на макетном образце мобильного КРК.

Формула полезной модели

Мобильный комплекс радиационного контроля, содержащий транспортное средство, сканирующий гамма-детектор, промышленный компьютер, связанный со спутни-

ковой навигационной системой, и электронный блок связи компьютера с периферийным оборудованием, отличающийся тем, что в состав комплекса дополнительно введен не-сканирующий широкоугольный гамма-детектор, связанный через блок связи с компьютером, а также видеоканал, содержащий видеокамеру и устройство оцифровки видео-изображения, причем сканирующий гамма-детектор выполнен с углом поля зрения $\leq 30^\circ$ и с диапазоном углов сканирования не более 180° .



Фиг. 1

Источники информации

1. <http://Www.Mchs.Gov.Ru/Mchs/Activities/Index.Php?Id = 4004&Lang = Eng&Print = Y>
2. Материалы XI-го Международного совещания «Проблемы прикладной спектроскопии и радиометрии - 2009 (ППСР-2009)». <http://www.ekosf.ru>
3. Дубна, НПЦ «Аспект». <http://www.aspect.dubna.ru/new/page.php?page = 411>
4. Мобильный комплекс радиационного контроля / А.В.Кружалов, В.Л.Петров, А.С.Шейн и др. // Тезисы доклада на Xi-м Международном совещании «Проблемы прикладной спектроскопии и радиометрии-2009 (ППСР-2009)», 20 - 25 сент. 2009, стр 23.
5. Разработка комплексов специального радиационного контроля для детектирования излучений радиоактивных и делящихся материалов / Андреев В.С., Благовещенский М.Н., Викторов Л.В. и др. // Вестник ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, Вып. 5 (76), Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005, С. 108-118.
6. Способ обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений / Л. В. Викторов, А. В. Кружалов, А. С. Шейн, Б. В. Шульгин и др. Пат. 2140660 РФ. Заявл. 10.02.1998; опубл. 27.10.1999. Бюл. № 30.
7. Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений / Л.В.Викторов, К.В. Ивановских, Ю.Г. Лазарев, В.Л. Петров, А.С. Шейн, Б.В. Шульгин// Патент РФ №2242024. Б.и., 10.12.2004, №34.
8. Андреев В.С., Викторов Л.В., Петров В.Л., Шейн А.С. Статистические характеристики флуктуаций гамма- и нейтронного фона. // Тезисы докладов VI Международного совещания «Проблемы прикладной спектроскопии и радиометрии. Москва. ВНИИФТРИ. 2002 г. С. 32.
9. С.К.Васильев. Доклад «Высококочувствительное сканирующее устройство для обнаружения и локализации источников гамма-излучения» //ППСР-2009. Сайт: <http://www.ekosf.ru>

Патент № 98826 РФ на полезную модель. Сцинтилляционный детектор / А. В. Ищенко, Б. В. Шульгин, В. Л. Петров, А. Н. Черепанов, В. И. Арбузов, В. Ю. Иванов, А. Ю. Дерстуганов. Заявл. 30.03.2010, опубл. 27.10.2010. Бюл. №30.

Реферат

Использование: для одновременной регистрации гамма-излучения и нейтронов в системах радиационного мониторинга территорий и объектов, для индивидуальной дозиметрии. Сущность: детектор включает в себя изготовленные из разных сцинтилляционных материалов полусферические сцинтилляторы в качестве двух независимых регистраторов излучений, первый из которых чувствителен к гамма-излучению, а второй к нейтронному излучению, причем первый регистратор сопряжен с первым PIN фотодиодом и подключен через первый кабель связи к первому модулю блока регистрации сигналов, а второй регистратор сопряжен со вторым PIN-фотодиодом и подключен через второй кабель связи ко второму модулю блока регистрации сигналов. Технический результат: одновременная регистрации гамма-излучения в счетном и спектрометрическом режимах и нейтронного излучения в счетном режиме

Описание полезной модели

Полезная модель относится к детекторным устройствам для регистрации гамма- и нейтронного излучений и может быть использована для обнаружения источников нейтронов, радиоактивных веществ и делящихся материалов в системах радиационного мониторинга местностей и морских акваторий, в системах индивидуальной дозиметрии, в системах таможенного радиационного контроля трансграничных переходов.

Известен сцинтилляционный детектор гамма-излучения (Горн Л. С. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений / Л. С. Горн, Б. И. Хазанов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с.), в котором в качестве фотоприемника используют фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), а в качестве сцинтиллятора используют кристалл CsI:Tl в форме цилиндра. Кристалл CsI:Tl имеет плотность 4,51 г/см³, световыход сцинтилляций до 0,45 относительного такового для NaI:Tl, максимум свечения при 565 нм, длительность сцинтиллпulses 450 нс. Однако недостатками такого сцинтилляционного детектора являются невысокий уровень светосбора сцинтилляций из-за цилиндрической формы кристалла, а также большие габариты и вес ФЭУ, и высоковольтное питание для ФЭУ. Кроме того, известный сцинтилляционный детектор не может наряду с гамма-излучением одновременно регистрировать нейтронное излучение.

Известен сцинтилляционный детектор гамма-излучения (Пат. 3382368 США), включающий сцинтиллятор BaF₂ (плотность 4,88 г/см³) и фотоэлектронный умножитель. Детектор имеет малую длительность сцинтилляций (< 50 нс). Однако сцинтилляционный кристалл BaF₂ из-за цилиндрической формы имеет невысокий уровень светосбора сцинтилляций. Кроме того, максимум спектра свечения BaF₂ лежит в ультрафиолетовой области спектра, $\lambda = 220$ нм, т. е. кристалл BaF₂ непригоден при работе детектора в режиме фотодиодной регистрации из-за нечувствительности PIN-фотодиодов к ультрафиолетовому свету. Недостатком известного сцинтилляционного детектора на основе BaF₂ является также то, что используемый в нем в качестве фотоприемника ФЭУ имеет большие размеры и вес и требует высоковольтного питания, что увеличивает габариты, вес и стоимость детектора в целом. К недостаткам известного сцинтилляционного детектора относится также то, что он не может одновременно регистрировать нейтронное и гамма- излучение.

Известен сцинтилляционный детектор (Пат. 3398278 США) быстрых нейтронов, включающий замедлитель из полиэтилена, сцинтиллятор ZnS:Ag и ФЭУ. Сцинтиллятор (Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М.: Атомиздат, 1970. 392 с) имеет свето-

выход, в 2 раза превышающий световыход NaI:Tl, максимум спектра излучения сцинтиллятора расположен при 450 нм. Однако такой детектор имеет большую длительность сцинтилляций $\sim 1\text{--}2$ мкс, не обеспечивает высокой загрузочной способности, имеет большие габариты и вес фотоприемника (ФЭУ) и не способен одновременно эффективно регистрировать нейтронное и гамма- излучение.

Известен сцинтилляционный детектор (Неорганические сцинтилляционные материалы / Л. В. Викторов [и др.] // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1991. Т. 27, № 10. С. 2005 – 2029.; Тинг С. Установка ЛЗ, ЛЭП (ЦЕРН): препринт / С. Тинг. Л.: ЛИЯФ, 1987. 52 с.; Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SRD-200. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992. 2 с), включающий сцинтиллятор $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и фотодиод, используемый, в частности, в экспериментах в Европейском ядерном центре (ЦЕРН) на ускорителях коллайдерного типа. Детектор имеет световыход сцинтилляций на уровне 0,1 относительно такового для NaI:Tl и длительность свечения, $\tau = 300$ мкс. Недостатком такого сцинтилляционного детектора является невозможность одновременной регистрации гамма- излучения и нейтронов.

Известен сцинтилляционный детектор фирмы SCIONIX Holland (Фотодиодные сцинтилляционные детекторы. Photodiode Scintillation Detectors SRD-200. Проспект фирмы SCIONIX Holland, 1992. 2 с) с фотодиодной регистрацией, содержащий сцинтиллятор, фотодиод и блок обработки сигналов, пригодный для обнаружения рентгеновского (> 60 кэВ) и гамма-излучения. Кристалл имеет форму цилиндра с размерами: диаметр – 40 мм, высота – 50 или 70 мм. В детекторе используют кристалл CsI:Tl $10\times 10\times 10$ мм³, максимум спектра люминесценции которого расположен при 565 нм, и кремниевый PIN-фотодиод. Однако известный сцинтилляционный детектор с фотодиодной регистрацией не пригоден для одновременной регистрации гамма- излучения и нейтронов.

Из всех известных сцинтилляционных детекторов гамма- и нейтронного излучений наиболее близким к заявляемому является устройство (Пат. 2297015 РФ, МПК G01T 1/20 G01T 3/06. Сцинтилляционный детектор / Б. В. Шульгин, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, А. И. Коссе, В. Л. Петров, Д. В. Райков, А. Н. Черепанов, А. А. Чудиновских. Заявл. 08.02.2006; опубли. 10.04.2007. Бюл. №10). Известное устройство содержит размещенный в едином корпусе сцинтиллятор, регистрирующий либо гамма-, либо нейтронное излучение, PIN-фотодиод, кабельный канал и блок обработки сигналов, причем сцинтиллятор выполнен в форме шара, состоящего из двух полусфер, находящихся друг с другом в оптическом контакте, а сцинтилляционный детектор дополнительно содержит отражающее покрытие в виде пленки, прилегающей к поверхности полусфер, и второй PIN-фотодиод, установленный к первому PIN-фотодиоду «спина к спине» в центре шарового сцинтиллятора, в котором выполнены полости для размещения PIN-фотодиодов и кабельный канал вывода их электрических контактов к блоку обработки сигналов. Устройство допускает использованием PIN-фотодиодов полусферической и сферической формы.

Однако известное устройство работает либо в режиме регистрация гамма-излучения, либо в режиме регистрации нейтронов. В первом случае регистрации гамма-излучения используют один из сцинтилляторов CsI:Tl, $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) или $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$, который изготовлен в виде двух полусфер с небольшой полостью точно в центре полусфер и узким кабельным каналом для вывода и передачи сигналов с PIN-фотодиодов на блок обработки сигналов. Две полусферы, образующие шаровой сцинтиллятор, имеют между собой оптический контакт. В случае режима регистрации нейтронов используется аналогичное устройство, но в качестве сцинтилляционного кристалла в виде двух полусфер используют кристалл стильбена. Таким образом, известный сцинтилляционный детектор не пригоден для одновременной регистрации нейтронного и гамма- излучения.

Задачей настоящего изобретения является разработка сцинтилляционного детектора с фотодиодной регистрацией пригодного для одновременной регистрации нейтрон-

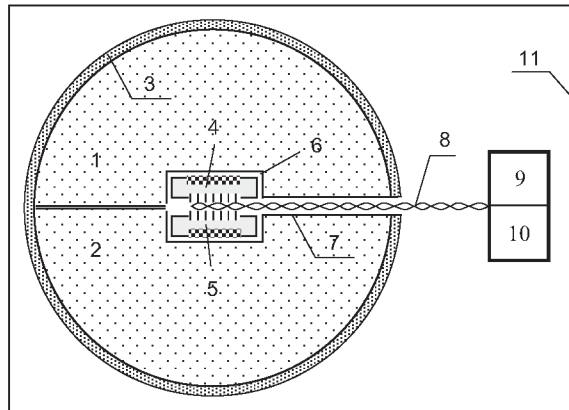
ного и гамма- излучения. Эта задача решается за счет того, что сцинтилляционный детектор содержит сцинтиллятор, выполненный в форме шара и состоящий из двух полусфер, причем полусферические сцинтилляторы изготавливают из разных материалов, один из которых чувствителен только к гамма- излучению, а другой только к нейтронному излучению. Регистрацию гамма- сцинтилляций и сцинтилляций, вызванных нейтронами, осуществляют раздельно PIN-фотодиодами с помощью блока обработки сигналов, состоящего из двух модулей, один из которых обрабатывает сигналы от полусферического гамма- сцинтиллятора, а второй от полусферического нейтронного сцинтиллятора.

На Фиг. 1 представлена схема сцинтилляционного детектора с плоскими PIN-фотодиодами.

Заявляемое устройство содержит сцинтиллятор в форме шара, состоящий из полусферического гамма- сцинтиллятора 1 и полусферического нейтронного сцинтиллятора 2, отражающее покрытие 3 в виде пленки, нанесенной на поверхность полусфер 1 и 2, два плоских PIN-фотодиода 4 и 5, установленные в полости 6 в центре полусфер 1 и 2, которые через канал 7 при помощи кабеля 8 соединены с блоками обработки сигналов 9 и 10, помещенных в единый корпус 11.

Формула полезной модели

Сцинтилляционный детектор, включающий размещенные в едином корпусе сцинтиллятор, выполненный в форме шара, состоящий из двух полусфер, PIN-фотодиоды, кабельный канал и блок обработки сигналов, отличающийся тем, что полусферические сцинтилляторы изготавливают из разных материалов, один из которых чувствителен к гамма- излучению, а другой к нейтронному излучению, причем блок обработки сигналов состоит из двух модулей, один из которых обрабатывает сигналы от полусферического гамма- сцинтиллятора, а второй от полусферического нейтронного сцинтиллятора.



Фиг. 1

Патент.№ 100271 РФ на полезную модель. Устройство для обнаружения взрывчатых веществ / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов, В. Г. Гребняк, Ю. И. Чернухин, В. А. Терехин. Заявл. 30.06.2010, опубл. 10.12.2010. Бюл. №34.

Реферат

Назначение: устройство предназначено для обнаружения скрытых взрывчатых веществ, закладываемых террористами на железных дорогах. Сущность: устройство для обнаружения взрывчатых веществ состоит из блока излучателей нейтронов, модуля детектирования гамма-излучения, а также модуля обработки сигналов, причем, блок излучателей состоит из источников быстрых и тепловых нейтронов, а модуль детектирования выполнен в виде двух блоков: сцинтилляционного спектрометра на основе кристаллов NaI:TI и широкоапертурного гетерогенного сцинтилляционного детектора (ГСД). Технический результат: повышение эффективности регистрации гамма-квантов и упрощение конструкции мобильной системы обнаружения взрывчатых веществ.

Описание полезной модели

Полезная модель относится к устройствам для обнаружения взрывчатых веществ (ВВ), скрытых под железнодорожным полотном. Полезная модель может быть использована в составе железнодорожных комплексов радиационного контроля взрывчатых веществ.

Применение нейтрон-радиационного метода для обнаружения ВВ с использованием тепловых нейтронов (ТН-метода) широко известно. Известны стационарные устройства для обнаружения ВВ в контролируемых предметах, преимущественно в авиабагаже (патент Российской Федерации № 2046324, G01N23/222, опубл. 20.10.1995г.; патент Российской Федерации № 2276352, G01N23/222, опубл. 10.05.2006г.; патент Российской Федерации № 2280248, G01N23/222, опубл. 20.07.2006г.), содержащие камеру из замедлителя нейтронов, в которую помещается багаж, источник быстрых нейтронов и блоки детектирования гамма-излучения.

Недостатком этих устройств является то, что они ориентированы на обнаружение ВВ при их облучении в изотропном поле тепловых нейтронов внутри камеры облучения, они не применимы для обнаружения ВВ в области железнодорожного полотна при облучении ВВ нейтронами внешнего источника в одном направлении.

В рамках координационного проекта МАГАТЭ «Применение ядерных технологий для обнаружения противопехотных мин» с 1998 года в Италии стартовала программа EXPLODET (EXPLOSive DETection) (G.Vesti et al. The EXPLODET Project: Advanced Nuclear Techniques for Humanitarian Demining. Nucl. Instr. and Meth. A 422 (1999) 918). Значительная часть работ EXPLODET по обнаружению ВВ нейтрон-радиационным методом опубликована в EXPLODET REPORT 1998–2002. В качестве аналога можно назвать известное устройство для обнаружения ВВ (M. Cinausero, F. Deak, D. Fabris et al. Characterization of a Gamma Spectroscopy Tool for Humanitarian Demining. INTERCIENCIA, v. 26. 2001. P. 117). Устройство состоит из излучателя тепловых нейтронов, блока детектирования и блока обработки информации. Тепловые нейтроны источника, проникая в грунт, достигают ядер азота, содержащихся в ВВ, и в результате реакции радиационного захвата индуцируют гамма-кванты с энергией 10,8 МэВ, регистрация которых осуществляется с помощью блока детектирования, расположенного рядом с блоком излучателя на фиксированном расстоянии от поверхности грунта. В качестве блока детектирования используется сцинтилляционный гамма-спектрометр с большим кристаллом NaI(Tl). Во всех известных устройствах для обнаружения ВВ нейтрон-радиационным методом используется сцинтилляционный блок детектирования гамма-излучения с ис-

пользованием больших неорганических сцинтилляторов NaI(Tl), CsI(Tl) или BGO. Для повышения эффективности регистрации гамма-излучения может использоваться несколько сцинтилляторов.

Недостатком такого устройства, как и других устройств обнаружения ВВ нейтронно-радиационным ТН-методом, является то, что известное устройство обеспечивает чувствительность обнаружения только значительных количеств ВВ весом не менее 1 кг. Это обусловлено тем, что используемый детектор обладает высокой чувствительностью к мягкому гамма-излучению, приводящей к высокой загрузке тракта регистрации, наложением импульсов от гамма-лучей, образованных при взаимодействии нейтронов как с материалом детектора, так и с окружающими материалами. Как следствие - низкое отношение полезного сигнала к фону ($\sim 10 - 1$) в области энергий гамма-квантов 9–11 МэВ.

Известно устройство для обнаружения взрывчатых веществ путем их облучения импульсными пучками быстрых нейтронов (БН-анализ) с энергией 14 МэВ (d-T-источник быстрых нейтронов) с одновременной регистрацией характеристического гамма-излучения элементов, возбуждаемых при неупругом рассеянии быстрых нейтронов. Энергии наиболее интенсивных гамма-квантов равны 4,43 (углерод), 2,31 (азот) и 6,13 МэВ (кислород) соответственно. (M.B.Goldberg. Applications of Scintillators In Security Inspection system. Proceedings of the "CRYstAL 2000" INTERNATIONAL WORKSHOP Heavy Scintillators for Scientific and Industrial applications, September 1992, P. 137 – 150). Однако, поскольку для большинства радиоактивных продуктов область излучения гамма-квантов расположена в пределах 5 кэВ – 3 МэВ регистрацию линии азота 2,1 МэВ приходится проводить на широком гамма-фоне, что снижает точность измерений.

Наиболее близким к заявляемому является известное устройство для обнаружения скрытых взрывчатых веществ (патент РФ на полезную модель №65650, МПК G01N 23/222, заявл. 05.03.2007, опубл. 10.08.2007, Бюл №22), состоящее из излучателя тепловых нейтронов, блока детектирования гамма-излучения и блока обработки информации, причем блок детектирования выполнен в виде широкоапертурного гетерогенного сцинтилляционного детектора (ГСД) для регистрации жесткого гамма-излучения. Он состоит из набора слоев конвертора гамма-излучения и слоев сцинтиллятора, примыкающих к слоям конвертора.

Обнаружение ВВ осуществляется в результате регистрации ГСД-детектором гамма-квантов с энергией $E = 10,8$ МэВ, возникающих в азоте, содержащемся в образце ВВ, размещенном в грунте, при облучении последнего тепловыми нейтронами.

Однако известное устройство для обнаружения скрытых взрывчатых веществ позволяет обнаруживать ВВ только по одному элементу, по изотопу азота ^{15}N , что не обеспечивает достаточно высокой надежности получаемой информации из-за возможности неконтролируемого вклада гамма-линий, связанных с материалом железнодорожных рельс и материалом их крепежа: 10,038 МэВ (0,03%) изотопа железа ^{58}Fe и 9,298 МэВ (3,3) изотопа железа ^{55}Fe , что снижает чувствительность метода контроля.

Задачей предлагаемой полезной модели является разработка устройства для обнаружения взрывчатых веществ, обладающего более высокой чувствительностью и обеспечивающего получение более надежных результатов.

Эта задача решается с использованием комбинированного нейтронно-радиационного метода контроля путем облучения ВВ тепловыми нейтронами (ТН-анализ)) и определения в них наличия азота ^{15}N по регистрируемому вторичному гамма-излучению с энергией 10,8 МэВ в комбинации с БН-анализом, то есть с помощью определения углерода, азота и кислорода, содержащихся практически во всех ВВ, путем облучения ВВ импульсными пучками быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ (d-T-источник быстрых нейтронов) с одновременным спектрометрическим анализом вторичного гамма-излучения с энергиями 4,43(углерод), 2,31(азот) и 6,13 МэВ (кислород).)

Полезная модель предлагаемого устройства обнаружения взрывчатых материалов содержит блок излучателей тепловых и быстрых нейтронов, модуль детектирования гамма-излучения, а также модуль управления и обработки сигналов, причем модуль детектирования гамма-излучения выполнен в виде двух блоков: сцинтилляционного спектрометрического детектора на основе кристаллов NaJ:Tl (используется один или несколько кристаллов NaJ:Tl для повышения чувствительности устройства) и широкоапертурного гетерогенного сцинтилляционного детектора (ГСД).

Схема предлагаемой полезной модели устройства железнодорожного базирования для обнаружения взрывчатых веществ приведена на Фиг. 1 и Фиг. 2. В состав устройства входят источник нейтронов, модуль детектирования, а также блок питания и обработки сигналов, управляемый дистанционно. Источник нейтронов выполнен в виде двух блоков, обозначенных одной и той же цифрой 1 на Фиг. 2 Первый блок источника нейтронов, изготовленный на основе изотопа ^{252}Cf с замедлителем из полиэтилена, является излучателем тепловых нейтронов (с плотностью потока тепловых нейтронов до 10^8 т.н./с. Второй блок выполнен в виде (d-T)-генератора (интенсивностью до $10^8 - 10^9$ н/с) и является излучателем быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ. Источник нейтронов окружен биологической защитой 2 и 3, одним из компонентов которой может быть вода. Модуль детектирования гамма-излучения 4 (Фиг. 1 и Фиг. 2) выполнен в виде двух блоков: вперёдсмотрящего спектрометрического сцинтилляционного блока на основе кристаллов NaJ-Tl, 4а, Фиг. 3, и блока широкоапертурного гетерогенного сцинтилляционного детектора (ГСД), 4б, Фиг. 3, с чередующимися слоями замедлителей и пластиковых сцинтилляторов. Блок питания и обработки сигналов 5, Фиг. 1, управляется дистанционно для обеспечения радиационной безопасности персонала. Все модули и блоки устройства для обнаружения взрывчатых веществ могут быть размещены в переоборудованной для этих целей цистерне, свободная часть которой 6, Фиг. 1, заполнена водой как замедлителем. Переоборудованная цистерна перемещается локомотивом, Фиг. 4. Дистанционное управление устройством осуществляет персонал, находящийся в локомотиве или в специальном вагоне.

Устройство работает следующим образом. Зондирующее нейтронное излучение при воздействии на взрывчатые вещества 7, расположенные в грунте 8, вызывает появление гамма-излучения с энергией 4,43 МэВ от изотопов углерода ^{12}C , с энергией 2,31 МэВ от изотопов азота ^{14}N и с энергией 6,13 МэВ от изотопов кислорода ^{16}O в случае воздействия на их ядра тепловыми нейтронами или появление гамма-излучения с энергией 10,8 МэВ, возникающего при захвате тепловых нейтронов ядрами азота ^{14}N с последующим образованием ядер ^{15}N и испусканием вследствие этой ядерной реакции гамма-квантов с указанной энергией.

Регистрируемые гамма-кванты попадают в сцинтиллятор на основе NaJ:Tl (первый блок сцинтилляционного модуля) или на фронтальную поверхность конвертирующих слоев ГСД (второй блок сцинтилляционного модуля) и, взаимодействуя с ними, создают в первом случае световые вспышки-сцинтилляции, регистрируемые ФЭУ с последующим анализом их спектра, а во втором случае создают поток электронов и позитронов, которые в зависимости от их энергии и пробега достигают детектирующих слоев сцинтиллятора ГСД, преобразуя энергию заряженных частиц в сцинтилляционные отсчеты, регистрируемые ФЭУ. В ГСД сцинтилляционного модуля толщины конвертирующих слоев выбираются так, что фоновые гамма-кванты дают отсчеты только в одном слое сцинтиллятора (один отсчет на один гамма-квант), тогда как «жесткие» гамма-кванты, рождающие жесткие электроны и позитроны, приводят к одновременным отсчетам в нескольких слоях сцинтиллятора. Регистрация полезных сигналов осуществляется как с каждого i -го сцинтилляционного слоя детектора (N_i , $i = 1, 2, \dots, M$, где M - число сцинтилляционных слоев детектора), так и одновременно со всех сцинтилляционных слоев одним фотоумножителем (ND). Соотношение между ND и $\sum N_i$ несет информацию

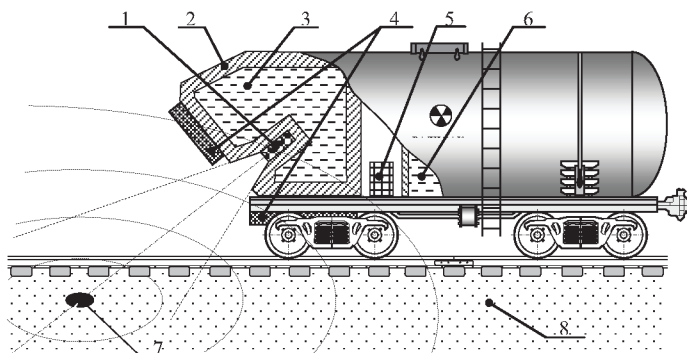
об энергетическом спектре падающего гамма-излучения. Система обработки информации, поступающей от гетерогенного детектора, позволяет работать при использовании высокоинтенсивного источника нейтронов ($> 10^8$ н/с) с подавлением фоновой составляющей и выделением полезных сигналов в широкой области спектра гамма - излучения (2,31, 4,43, 6,13 и 10,8 МэВ), что повышает отношение эффект/фон в выделенных энергетических интервалах. Это качество отсутствует у параллельно используемого сцинтилلابлока на основе кристалла NaJ:TI.

Обнаружение ВВ осуществляется по результатам регистрации спектрометрическим сцинтилляционным детектором на основе кристаллов NaJ:TI или ГСД-детектором гамма-квантов с энергией 2,31, 4,43, 6,13 и 10,8 МэВ, возникающих вследствие ядерных реакций в азоте, углероде и кислороде, содержащихся в образце взрывчатых веществ 7, помещенного в грунт (8), при его одновременном облучении быстрыми и тепловыми нейтронами. Расчеты показывают, что нормированная на один падающий гамма -квант с энергией $E = 10$ МэВ эффективность его регистрации детектором NaI(Tl) и ГСД примерно одинаковая и определяется апертурой детекторов. Учитывая возможность использования ГСД большой апертуры по сравнению с использованием детекторов NaI(Tl) с максимально существующей апертурой, можно повысить эффективность регистрации гамма-квантов в 10^{-20} раз. Малая толщина ГСД (~ 2 см) позволяет упростить проектирование устройства и конструкцию мобильной системы обнаружения ВВ.

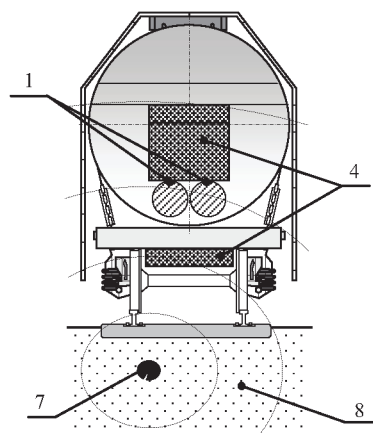
Проверка работы устройства была проведена для образца, моделирующего ВВ, содержащего 100 граммов азотнокислого калия (KNO_3). Устройство позволило надежно зарегистрировать этот объект.

Формула полезной модели

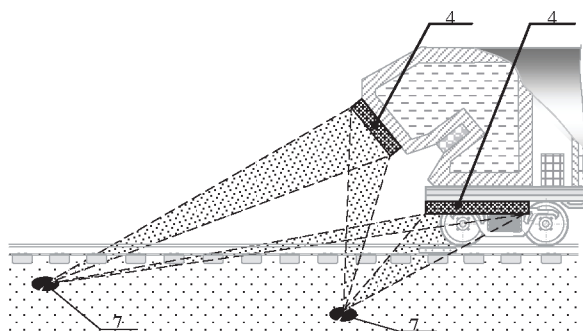
Устройство для обнаружения взрывчатых веществ, состоящее из блока излучателей нейтронов, модуля детектирования гамма-излучения, а также модуль обработки сигналов, отличающееся тем, что блок излучателей дополнительно к источнику тепловых нейтронов содержит генератор быстрых нейтронов, а модуль детектирования выполнен в виде двух блоков: сцинтилляционного спектрометра на основе кристаллов NaJ-TI и широкоапертурного гетерогенного сцинтилляционного детектора (ГСД).



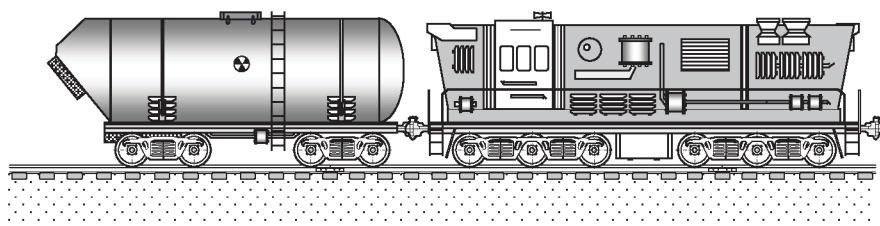
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Патент.№ 100294 РФ на полезную модель. Детектор нейтронов / Б. В. Шульгин, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов, А. Н. Черепанов, В. Г. Гребняк, В. В. Соколкин, А. В. Ищенко, В. М. Гадельшин. Заявл. 09.08.2010, опублик. 10.12.2010. Бюл. №34.

Реферат

Назначение. Детектирование быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов. **Сущность.** Детектор нейтронов для стационарных и мобильных комплексов дистанционного радиационного контроля различного базирования содержит размещенные в едином корпусе газоразрядные ^3He -счетчики, располагаемые параллельно друг другу, замедлитель нейтронов из водородосодержащего материала и отдельный модуль управления, причем замедлитель нейтронов выполнен в виде составного полого цилиндра и состоит из двух частей в виде прижатых друг к другу двух полуцилиндров с расположенными на их внешней стороне газоразрядными ^3He -счетчиками в один или два слоя вокруг боковой поверхности каждого из полуцилиндров замедлителя; модуль управления и обработки сигналов состоит из двух блоков, каждый из которых связан с ^3He -газоразрядными счетчиками, принадлежащими соответственно первому и второму полуцилиндрам замедлителя. **Технический результат.** Повышение чувствительности детектора нейтронов. Уменьшение массогабаритных характеристик. Одновременное получение информации о состоянии радиационной обстановки раздельно по правому и левому бортам носителя.

Описание полезной модели

Заявляемая полезная модель детектора нейтронов относится к области детектирования быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов. Предлагаемая полезная модель детектора нейтронов пригодна для использования в мобильных и стационарных комплексах дистанционного радиационного контроля автомобильного и железнодорожного базирования, а также в комплексах морского и вертолетного базирования, предназначенных для обнаружения делящихся материалов (урана, плутония, калифорния, кюрия и изотопов из них), для радиационного обследования акваторий и территорий, инспекционного обследования судов и других плавсредств, объектов атомной и ядерной промышленности, в том числе ядерных субмарин и тепловыделяющих сборок, подлежащих разборке, пригодна для решения задач радиационного мониторинга службами Госатомнадзора и таможенных постов, для служб дозиметрической и ядерной безопасности предприятий по переработке ядерного горючего, для служб по предотвращению акций ядерного терроризма и для служб радиационной разведки.

Известен детектор нейтронов сцинтилляционного типа (Пат. 2272301 РФ. Сцинтилляционный детектор нейтронов / Д. В. Райков, Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, А. В. Кружалов, А. Н. Черепанов, В. Л. Петров, П. В. Райков, А. В. Ищенко. Заявл. 16.11.2004; опублик. 20.03.2006. Бюл. № 8), в котором чувствительный элемент изготовлен из сцинтиллирующего ^6Li -силикатного стекла. Известный детектор пригоден для регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов, а также для регистрации гамма-излучения. Однако такой детектор имеет более низкую чувствительность, чем детектор нейтронов на базе ^3He -счетчиков, поскольку сечение взаимодействия тепловых нейтронов с ядрами ^6Li около 900 барн, а с ядрами ^3He более 4000 барн.

Известен детектор быстрых нейтронов и гамма-лучей (патент РФ №96107590/25. Дата выдачи 27.07.1998. Приоритет 18.04.1996. ИПК G01T 1/00, G01T 3/00, авторы Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, Л. В. Виктор и др), содержащий датчик быстрых нейтронов, помещенный в замедлитель из водородсодержащего материала, отличающийся тем, что датчик нейтронов состоит из набора газоразрядных ^3He -счетчиков, размещенных в корпусе, имеющем вид призмы прямоугольного сечения, а датчик гамма-излучения включа-

ет в себя набор размещенных в замедлителе пластмассовых водородсодержащих сцинтиллирующих вставок, на концах которых размещены фотоприемники; причем сцинтиллирующие пластмассовые вставки изготовлены в виде покрытых светоотражающей пленкой призм или в виде пучка сцинтиллирующих волокон. Однако такой детектор нейтронов, изготавливаемый в виде призмы прямоугольного сечения с водородсодержащими сцинтиллирующими вставками в замедлителе, с фотоприемниками и газоразрядными ^3He -счетчиками, будучи установленным на автомобиль, корабль или железнодорожную платформу сможет регистрировать нейтроны только справа или только слева, он не сможет одновременно регистрировать нейтроны в двух направлениях: и справа и слева по борту. Кроме того, известный детектор характеризуется повышенными массогабаритными параметрами.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов СПС-Т4А (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990). Датчик детектора представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации быстрых нейтронов. Детектор имеет следующие характеристики: длительность сцинтимпульса, создаваемого нейтронами 8,5 нс; световой выход (УЕСВ по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ 0,29; максимум спектра люминесценции 490 нм, диаметр и высота – до 50 мм. Однако такой детектор обладает невысокой чувствительностью, он не пригоден для регистрации промежуточных и тепловых нейтронов. Кроме того, он не может одновременно регистрировать нейтроны в двух направлениях; он пригоден для регистрации излучения только в одном направлении.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов и гамма-лучей (Пат. 4482808 США). Детектор содержит датчик-сцинтиблок, в частности сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако известный однокристалльный датчик обладает невысокой чувствительностью и не является оптимальным для одновременной регистрации быстрых, промежуточных и тепловых нейтронов. Он не может одновременно регистрировать нейтроны в двух направлениях. Он пригоден для регистрации излучения только в одном направлении.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов и гамма-излучения (Пат. 2189057 РФ). Детектор содержит датчик-сцинтиблок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор, (n, α , γ)-конвертор из карбида или нитрида бора, сцинтилляционный кристалл NaI:Tl и фотоэлектронный умножитель, а также блок электронной обработки информации. Недостатком такого детектора является то, что эффективность фотосбора сцинтилляций, возникающих в пластике от быстрых нейтронов, невысока по целому ряду причин: (а) пластик соприкасается с фотоприемником (ФЭУ) не всей плоскостью, а только по периферийному кольцу; (б) площадь соприкосновения пластика с окном ФЭУ составляет 30 – 40 % от площади окна, поэтому эффективность фотосъема не превышает 30 – 40 % от фотосбора в режиме, когда сцинтиллятор соприкасался бы с ФЭУ всем своим рабочим торцом; (в) чехол (n, α , γ)-конвертора из карбида или нитрида бора является светонепроницаемым и часть сцинтилляций, возникающих в пластике, поглощается в чехле и не доходит до ФЭУ и, следовательно, не регистрируется. Однако сцинтилляционная эффективность известного борного детектора нейтронов гораздо ниже, чем у газоразрядных ^3He -счетчиков. Кроме того, известный детектор не может одновременно регистрировать нейтроны в двух направлениях; он пригоден для регистрации излучения только в одном направлении.

Наиболее близкими к заявляемому является детекторы нейтронного излучения на базе газоразрядных ^3He -счетчиков, используемые в мобильном комплексе «Советник

СК-АМ» автомобильного базирования (Новые детекторные материалы и устройства / Б. В. Шульгин, А. Н. Черепанов, Д. Б. Шульгин. – М.: Физматлит, 2009. 360 с. – ISBN №978-5 – 9221-1109-6; детекторы изображены на рис. ИС.4, с.17; ИС.5, с.18). Такие детекторы, содержащие около двух десятков ^3He -счетчиков каждый, в случае автомобильного варианта базирования (как в комплексе «Советник СК-АМ») устанавливаются стационарно вдоль одного из бортов автомобиля, вдоль правого или левого бортов. Таким образом, известный детектор пригоден для регистрации излучения только в одном направлении. Он не может одновременно регистрировать нейтроны в двух направлениях; Другим недостатком известного детектора являются его большие массогабаритные параметры. Детектор, изготовленный в виде параллелепипеда (сундука) размерами 110 на 63 на 30 см, из-за большой массы замедлителя, большой ширины и толщины имеет вес более 180 кг, что для персонала, состоящего даже из четырех человек, затрудняет перемещение детекторов и их установку на новых рабочих местах на любых носителях, будь то автомобиль или корабль или железнодорожная платформа.

Задачей предлагаемой полезной модели является разработка детектора нейтронов на базе ^3He -счетчиков (для стационарных и мобильных комплексов дистанционного радиационного контроля, размещаемых на различных носителях), который имел бы меньшие массогабаритные параметры и был способен получать и выдавать информацию о состоянии радиационной обстановки одновременно по правому и левому бортам носителей, а также об азимуте места нахождения нейтронного источника.

Задача решается за счет того, что полезная модель детектора нейтронов для стационарных и мобильных комплексов дистанционного радиационного контроля, размещаемых на различных носителях, содержит размещенные в едином корпусе газоразрядные ^3He -счетчики, располагаемые параллельно друг другу, замедлитель нейтронов из водородсодержащего материала и отдельный модуль управления, причем замедлитель нейтронов выполнен в виде составного полого цилиндра и состоит из двух частей в виде прижатых друг к другу двух полуцилиндров замедлителя с расположенными на их внешней стороне газоразрядными ^3He -счетчиками в один или два слоя вокруг боковой поверхности каждого из полуцилиндров замедлителя; модуль управления и обработки сигналов состоит из двух блоков, отдельно связанных с ^3He -газоразрядными счетчиками, принадлежащими первому и второму полуцилиндрам замедлителя.

Внешний вид предлагаемого детектора нейтронов с одним слоем газоразрядных счетчиков приведен на фиг. 1, а с двумя слоями газоразрядных счетчиков – на фиг. 2. На фиг. 3 показана схема детектора в разрезе и линия стыковки двух полуцилиндрических замедлителей.

Предлагаемое устройство для обеспечения повышенной чувствительности может содержать до двух-трех десятков газоразрядных ^3He -счетчиков нейтронов 1. Замедлитель нейтронов 2, выполнен из водородсодержащего материала (пластика) в виде полого цилиндра с каналом 3 вдоль оси. Диаметр полого канала и необходимая толщина замедлителя рассчитываются из условия обеспечения максимально возможной концентрации тепловых нейтронов в области, расположенной в прилегающем снаружи к замедлителю пространстве, в которой создается так называемая тепловая баня, а именно в области, в которой располагаются с помощью элементов крепежа 4 газоразрядные ^3He счетчики. Пустой канал сделан для облегчения конструкции детектора в целом, а также для уменьшения потерь тепловых нейтронов из-за излишнего поглощения нейтронов пластиковым замедлителем 2, если бы он был изготовлен в виде цельного цилиндра. Кроме цилиндрического канала вдоль оси, пластиковый замедлитель в случае двуслойного расположения ^3He -счетчиков имеет цилиндрические отверстия, расположенные на некотором расстоянии от оси замедлителя, размер которых согласован с размером газоразрядных ^3He -счетчиков. В случае однослойной конструкции, Фиг. 1, ^3He -счетчики 1 располагаются на боковой поверхности замедлителя. Счетчики детектора нейтронов закрепля-

ются с помощью специальных элементов крепежа 4. Детальная конструкция элементов крепежа, имеющих специальные резиновые прокладки, на Фиг 1 и Фиг. 2 не показана. Блок детектирования заключен в единый корпус 5 и управляется блоком управления и обработки сигналов 6.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Быстрые и промежуточные нейтроны, попадая в замедлитель блока детектирования теряют свою энергию, замедляются до тепловых нейтронов и образуют тепловую баню. ^3He -счетчики эффективно регистрируют тепловые нейтроны первичного спектра и нейтроны более жестких диапазонов первичного спектра, замедляемые до тепловой энергии и заполняющие зону тепловой бани. Для тепловых нейтронов первичного спектра предусмотрен прямой доступ к ^3He -счетчикам. Цилиндрический полый канал вдоль оси по всей длине замедлителя, уменьшает его толщину до требуемых размеров, обеспечивающих наиболее эффективную регистрацию нейтронов, понижает вероятность потерь нейтронов, связанных с их возможным поглощением в слишком толстом замедлителе, повышая эффективность детектора в целом, и в полтора – два раза снижает вес замедлителя нейтронного детектора.

Блок управления обрабатывает получаемую информацию о плотности потока регистрируемых нейтронов в дифференциальном режиме по двум каналам. Одна из функций блока управления связана с разделением сигналов от двух групп счетчиков, расположенных справа и слева в детекторном блоке, и регистрацией этих сигналов в двух отдельных каналах блока управления. Такой режим, в отличие от известного, применяемого ранее, в котором регистрация нейтронов была возможно только с левого борта или только с правого борта, обеспечивает реальные возможности получения информации о наличии радиационных источников в объектах, поодиночке или одновременно проходящим по разным бортам (автомобиля или железнодорожной платформы), обеспечивает возможность точного определения наличия источника нейтронов при прохождении корабля, на котором находится комплекс контроля, в узкостях, когда по правому и левому бортам находятся возможные объекты контроля.

Сравнение эффективности предлагаемой полезной модели нового детектора нейтронов цилиндрической формы с эффективностью ранее известных детекторов в виде прямоугольных блоков указывает на более высокую эффективность детекторов нового цилиндрического типа с учетом нормировки показателей эффективности на массогабаритные параметры.

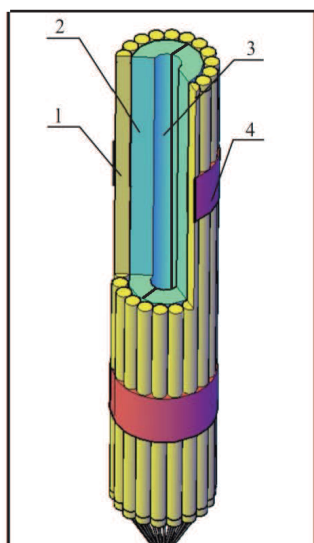
Предложенные детекторы, в каком бы варианте базирования они не использовались, обладающие меньшим весом и в 2-3 раза меньшей шириной (при одинаковой высоте, зависящей от длины ^3He -счетчиков) в сравнении с известными нейтронными детекторами для комплексов дистанционного радиационного контроля, более удобны для транспортировки, для перемещений и установки на новые позиции контроля.

Дополнительным преимуществом предлагаемых детекторов нейтронов с двумя слоями счетчиков является возможность организации их работы в совмещенных режимах: в спектрометрическом и счетном. В спектрометрическом режиме может работать внешний слой счетчиков; в счетном режиме работают счетчики внутреннего слоя.

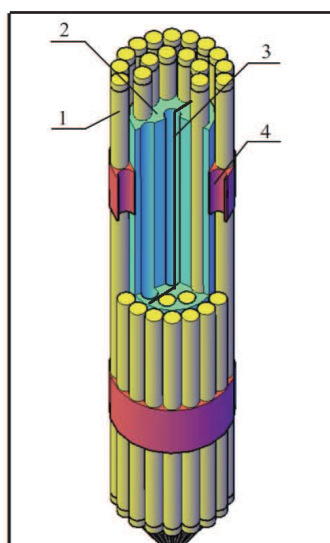
Формула полезной модели

Детектор нейтронов для комплексов дистанционного радиационного контроля, размещаемых на различных носителях, содержит размещенные в едином корпусе газоразрядные ^3He -счетчики, располагаемые параллельно друг другу, замедлитель нейтронов из водородсодержащего материала и отдельный модуль управления, причем замедлитель нейтронов выполнен в виде составного полого цилиндра и состоит из двух частей в виде прижатых друг к другу двух полуцилиндров с расположенными на их внешней стороне газоразрядными ^3He -счетчиками в один или два слоя вокруг боковой по-

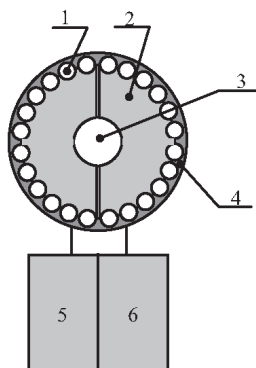
верхности каждого из полуцилиндров замедлителя; модуль управления и обработки сигналов состоит из двух блоков, отдельно связанных с ^3He -газоразрядными счетчиками, принадлежащими первому и второму полуцилиндрам замедлителя.



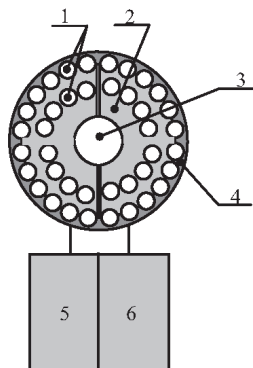
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Патент. №. 100296 РФ на полезную модель. Базовый спектро-радиометрический модуль для мобильных комплексов радиационного контроля/ М. Н. Благовещенский, А. Ю. Дерстуганов, Б. В. Шульгин, О. Н. Шутов. Заявл. 23.04.2010, опубл. 10.12.2010. Бюл. № 34.

Реферат

Назначение: поиск, обнаружение и идентификация делящихся материалов и радиоактивных веществ.

Сущность: Базовый спектро-радиометрический модуль для мобильных комплексов радиационного контроля при использовании в качестве носителей автомобилей, железнодорожных путевых машин, кораблей или катеров, включающий один или несколько стационарных счетных нейтронных детекторов, состоящих из ^3He -счетчиков, стационарный счетный гамма-канал детектирования, состоящий из нескольких пластиковых сцинтилляционных блоков детектирования, один спектрометрический гамма-детектор на основе кристаллов NaI:Tl , блок управления и обработки сигналов, дополнительно содержит элементы управления работой нейтронных и гамма-детекторов с переменной геометрией рабочих позиций этих элементов управления, а именно каждый счетный нейтронный детектор дополнительно содержит 4 замедлителя нейтронов из водородсодержащего материала с меняющейся геометрией рабочей позиции каждого замедлителя, а каждый сцинтилляционный блок детектирования счетного гамма-канала дополнительно содержит 2 свинцовых поглотителя гамма-излучения по одному с каждой стороны блока с меняющейся геометрией рабочих позиций поглотителей. Спектрометрический гамма-детектор дополнительно содержит элементы управления, а именно внутри своего корпуса имеет механизм поворота кристаллов NaI:Tl вместе с фотоприемным устройством относительно вертикальной оси на 180° .

Технический результат: обеспечение проведения радиационного контроля мобильными комплексами в любом заданном направлении: с левого борта, с правого борта или одновременно с левого и правого бортов.

Описание полезной модели

Полезная модель связана с устройствами поиска, обнаружения и идентификации делящихся материалов и радиоактивных веществ и может быть использована для создания комплексов радиационного контроля автомобильного, железнодорожного и морского базирования при использовании в качестве носителей автомобилей, железнодорожных путевых машин, кораблей или катеров для проведения радиационного мониторинга территорий и акваторий, промышленных, гражданских и военных объектов, включая территории, подвергнутые загрязнению радиоактивными веществами, территорий аэропортов и пунктов трансграничных переходов, мониторинга транспортных коммуникаций, включая шоссе и железные дороги, особо мониторинга железнодорожных и автомобильных тоннелей и мостов.

Известен базовый спектро-радиометрический модуль для комплекса радиационного контроля (РК) автомобильного базирования для обнаружения источников гамма-излучения, включая делящиеся материалы (А.С.Шеин, Л.В.Викторов, Г.А.Кунцевич, А.Л.Крымов, В.Л.Петров / Мобильный комплекс радиационного контроля // Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Межвуз. сб. научн. трудов. УГТУ-УПИ. Екатеринбург. 2008. Вып. 25. С. 215 – 226). Базовый спектро-радиометрический модуль комплекса РК предназначен для обеспечения работы комплекса РК в режиме пассивного радиационного контроля местности по маршруту движения автомобиля и радиационного контроля (обнаружения) подвижных и неподвижных радиоактивных источников гамма-излучения. Базовый спектро-радиометрический модуль комплекса РК состоит из счетного гамма-детектора с шестью пластмассовыми сцинтилляционными блоками детектирования и

спектрометрического гамма-детектора с четырьмя сцинтилляционными блоками детектирования на основе кристаллов NaI:Tl. Управление работой базового спектро-радиометрического модуля комплекса РК осуществляется с помощью центральной ЭВМ. Известный базовый спектро-радиометрический модуль комплекса РК дополнительно оснащен двумя видеокамерами, устанавливаемыми по правому и левому бортам автомобиля и спутниковой навигационной системой. Известный комплекс РК, укомплектованный вышеописанным базовым спектро-радиометрическим модулем, позволяет не только обнаруживать радиоактивные источники, включая делящиеся материалы (по их гамма-излучению), но и определять координаты точки обнаружения и фиксировать их на электронной карте в момент обнаружения, а также идентифицировать тип делящегося материала по его гамма-спектру. Недостатком известного базового спектро-радиометрического модуля для комплекса РК автомобильного базирования является то, что он не содержит специального канала регистрации нейтронного излучения, поэтому обнаружительная способность комплекса по отношению к нейтронному излучению невысока; соответственно низкой является и дальность обнаружения делящихся материалов. Другим недостатком известного базового спектро-радиометрического модуля для автомобильного комплекса РК является невозможность переориентации всех его блоков для работы только на левый борт или для работы только на правый борт без применения поворотных платформ.

Известен радиометрический комплекс радиационного контроля (R. Mozley / Verifying The Number of Warheads on Multiple-warhead Missiles Through On-site Inspections // Science and Global Security. 1990. Vol. 1. P. 303-321), применяемый для обнаружения и определения числа ядерных боезарядов в головках ракет. Комплекс включает в себя импульсный источник нейтронов и нейтронный детектор, который регистрирует продукты ядерной реакции, образующиеся при активном радиационном зондировании ядерных боезарядов импульсным пучком нейтронов. Однако известный комплекс радиационного контроля не является мобильным, он непригоден для целей мониторинга территорий, не обеспечивает непрерывного радиационного контроля местности, контроля подвижных и неподвижных объектов, непригоден для идентификации радиоактивных веществ в режиме реального времени, поскольку не имеет спектрометрического гамма-канала детектирования.

Известны базовые радиометрические модули для стационарных комплексов радиационного контроля, изготавливаемые в виде порталных мониторов (патент РФ №2129289, МПК G01T 1/167, опубл.20.04.1999г), в которых для повышения чувствительности при регистрации гамма-излучения используют пластмассовые сцинтилляторы большой площади, работающие в счетном режиме, а для регистрации нейтронов - газоразрядные ³He-нейтронные счетчики. Недостатком известных базовых радиометрических модулей для порталных комплексов РК является стационарный режим их использования и ограниченная апертюра нейтронных счетчиков. Этот недостаток (ограниченная апертюра нейтронных счетчиков) отмечен также в известном патенте РФ (В.А.Терехин, Ю.И.Чернухин, С. И. Стрельцов, патент РФ на полезную модель № 56003, МПК G01T 3/00, заявл.06.03.2006, опубл.27.08.2006.Бюл. № 24).

Известны базовые спектро-радиометрические модули (R.S. Seymour, R.A.Craig, M.Bliss et al. Performance of a Neutron-Sensitive Scintillating Glass-Fiber Panel for Portal, Freight and Vehicle Monitoring / Proceedings of SPIE, v/3536. Nuclear Waste Engineering Section, P.148-155, 1998) для комплексов радиационного контроля, изготавливаемые в виде стационарных порталных сцинтилляционных счетных детекторов нейтронного излучения на базе литий-содержащего стекла PUMA (по патенту США 5680423, G01T 3/06, 2110.1997) и содержащие дополнительные спектрометрические детекторы гамма-квантов на основе неорганических сцинтилляционных кристаллов NaI:Tl или BGO. Недостатками таких базовых спектро-радиометрических модулей для порталных детекто-

ров нейтронного излучения является стационарный режим их работы, неизменная геометрия расположения детекторов, невозможность их переориентации, ограниченная апертура регистрации излучения и невозможность задания режимов работы комплекса в заданном направлении контроля.

Наиболее близким к заявляемому является известный базовый спектро-радиометрический модуль для автомобильного комплекса РК типа «Соратник-01», устанавливаемый на автомобиле «Камаз» (В.С.Андреев, М.Н.Благовещенский, Л.В.Викторов, А.В.Кружалов, Б.В.Шульгин и др. Вестник УГТУ-УПИ. Экспериментальная физика. Приборы и методы. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. с.108-118). Известный базовый спектро-радиометрический модуль применяется для комплектации автомобильных комплексов РК, предназначенных для обнаружения делящихся материалов и радиоактивных веществ и для решения задач радиационного мониторинга территорий и объектов, а также задач идентификации радиоактивных веществ по их гамма-излучению. Известный базовый спектро-радиометрический модуль для автомобильного комплекса РК включает в себя расположенные на поворотной платформе три нейтронных детектора (каждый состоит из 23-х ^3He -счетчиков), работающие в счетном режиме, девять пластиковых сцинтилляционных блоков детектирования и блок спектрометрических гамма-детекторов на основе кристаллов NaI:Tl, а также программный блок управления и обработки сигналов. Общий вес детекторов составляет 1100 кг, платформы – 400 кг. Однако известный спектро-радиометрический модуль для комплекса контроля с тяжелыми детекторами, расположенными на поворотной платформе обеспечивает проведение радиационного мониторинга либо только по правому борту автомобиля, либо только по левому борту в зависимости от положения поворотной платформы. Применение массивной и сложной по конструкции поворотной платформы (входящей в состав модуля) для управления тяжелыми нейтронными и гамма-детекторами уменьшает надежность и срок службы комплекса. Тяжелая поворотная платформа вынуждает применять большегрузные автомобили-носители (типа «Камаз», «Урал»). Кроме того, известная конструкция нейтронных детекторов базового спектро-радиометрического модуля автомобильного комплекса РК не позволяет обеспечивать режим контроля, при котором была бы возможна регистрация нейтронов одновременно по левому и правому бортам, при котором была бы возможна переориентация работы нейтронных детекторов на другое заданное направление без применения поворотной платформы.

Задачей предлагаемой полезной модели является разработка базового спектро-радиометрического модуля для мобильных комплексов радиационного контроля источников гамма- и нейтронного излучений (автомобильного, железнодорожного и морского базирования), способного к переориентации работы счетных нейтронных детекторов и сцинтилляционных счетных блоков детектирования с одного режима работы на другой режим в заданном направлении контроля без использования поворотных платформ.

Эта задача в предлагаемой полезной модели решается за счет того, что базовый спектро-радиометрический модуль для мобильных комплексов радиационного контроля, размещаемых на автомобильных, железнодорожных, или морских носителях для обнаружения источников нейтронного и гамма-излучений – делящихся материалов и радиоактивных веществ, включающий один или несколько стационарных счетных нейтронных детекторов, состоящих из ^3He -счетчиков (от 16 до 24), стационарный счетный гамма-канал детектирования, состоящий из нескольких пластиковых сцинтилляционных блоков детектирования (от 2-х до 8-ми блоков), один стационарный спектрометрический гамма-детектор, в котором кристалл NaI:Tl вместе с фотоприемником имеет возможность поворачиваться плоскостью чувствительности относительно вертикальной оси на 180° (на левый или правый борт), программный блок управления и обработки сигналов, содержит дополнительные элементы управления работой нейтронных и гамма-детекторов с переменной геометрией рабочих позиций этих элементов, а именно каждый

счетный нейтронный детектор дополнительно содержит 4 замедлителя нейтронов из водородсодержащего материала с меняющейся геометрией рабочей позиции каждого замедлителя, а каждый сцинтилляционный блок детектирования счетного гамма-канала дополнительно содержит 2 свинцовых поглотителя гамма-излучения по одному с каждой стороны блока с меняющейся геометрией рабочих позиций поглотителей.

Работа предлагаемого базового спектро-радиометрического модуля для мобильных комплексов РК описана ниже на примерах мобильных комплексов РК различного базирования.

Пример 1. Базовый спектро-радиометрический модуль для автомобильного комплекса радиационного контроля.

В примере рассмотрен базовый спектро-радиометрический модуль для автомобильного комплекса радиационного контроля, включающий один стационарный счетный нейтронный детектор, состоящий из ^3He -счетчиков, стационарный счетный гамма-канал детектирования, состоящий из 4-х пластиковых сцинтилляционных блоков детектирования, один стационарный спектрометрический гамма-детектор на основе кристаллов NaI:Тl, программный блок управления и обработки сигналов

Нейтронный счетный детектор (его схематический вид сверху показан на Фиг. 1), состоит из блока ^3He -счетчиков, помещенных в корпус 1 и четырех дополнительных замедлителей нейтронов 2 – 5 из водородсодержащих материалов. Блок ^3He -счетчиков содержит до 24-х ^3He -счетчиков 6 и первичный замедлитель нейтронов 7 (обозначен только с левой стороны, аналогичный замедлитель расположен симметрично и с правой стороны). Первичные замедлители 7 не обеспечивают эффективной регистрации нейтронов.

Дополнительные замедлители обеспечивают эффективную регистрацию нейтронов, они являются элементами с переменной геометрией рабочих позиций. Каждый из замедлителей 2 – 5 может занимать две позиции, представленные как 2 и 2', 3 и 3', 4 и 4', 5 и 5'. Перевод замедлителей в различные рабочие позиции проводят с помощью тяг 8 и 9, позиции которых на Фиг. 1 указаны как 8 и 8', 9 и 9'. Замедлители замедляют быстрые нейтроны измеряемого нейтронного поля, возвращают их назад и создают так называемую «баню» тепловых нейтронов в зоне расположения ^3He -счетчиков, существенно повышая чувствительность всего блока ^3He -счетчиков, образующих нейтронный детектор. Тепловые нейтроны регистрируются в газоразрядном ^3He -счетчике благодаря ядерной реакции на ядрах ^3He изотопа гелия. Для конфигурации замедлителей, приведенной на Фиг. 1, в рабочем состоянии находятся замедлитель 3, который регистрирует нейтронное излучение, приходящее с левого борта, и замедлитель 4, который регистрирует нейтронное излучение, приходящее с правого борта. Нейтронный счетный детектор с указанной на Фиг. 1 геометрией рабочих позиций замедлителей регистрирует нейтронное излучение одновременно с левого и правого бортов, но «в пол-силы» с каждого борта, что достаточно для работы устройства в дежурном режиме разведывательного радиационного мониторинга.

Если блок управления и обработки сигналов (позиция 1 на Фиг. 4), работа которого контролируется оператором, зафиксирует превышение плотности потока нейтронов над фоновой плотностью с правого борта, то детектор легко может быть перестроен на регистрацию излучения, приходящего только с правого борта. Процесс перестройки детектора на новый режим работы осуществляют путем перемещения тяги из позиции 8 в позицию 8', за счет этого замедлитель 2 будет переведен в положение 2', а замедлитель 3 в положение 3' (Фиг. 2а). В этой геометрии замедлители 2' и 4 обеспечивают превращение быстрых нейтронов (с энергией спектра деления в случае нейтронов от делящихся материалов: урана, плутония или других ДМ), поступающих с правого борта, в тепловые нейтроны, возвращают их назад в ^3He -счетчики нейтронного детектора, где они и регистрируются.

При необходимости регистрации нейтронов только с левого борта (при обнаружении очагов с делящимися материалами именно с левого борта) замедлитель 4 переводят в положение 4', а замедлитель 5 в положение 5', Фиг. 2б. В этом случае замедлители 3 и 5' обеспечивают превращение быстрых нейтронов, поступающих с левого борта, в тепловые и возвращают их назад в нейтронный детектор, в котором с помощью ^3He -счетчиков они и регистрируются. При такой конфигурации замедлители 2 и 4' выбывают из процесса регистрации нейтронов, выбывают «из игры», а нейтронный детектор регистрирует нейтроны только с левого борта.

Счетный гамма-канал (Фиг. 3) состоит из четного числа пластиковых сцинтилляционных блоков детектирования (в данном примере из 2-х блоков детектирования), каждый из которых имеет 2 свинцовых поглотителя гамма-излучения. Каждый сцинтилляционный блок состоит из пластикового сцинтиллятора 1, 2, и пары поглотителей 3-4 и 5 – 6 соответственно (Фиг. 3). Поглотители с переменной геометрией рабочих позиций обеспечивают поглощение гамма-квантов с одного борта, при этом идет эффективная регистрация гамма-квантов с другого борта. Каждый из поглотителей 3 – 6 может занимать две позиции, представленные как 3 и 3', 4 и 4', 5 и 5', 6 и 6'. Перевод поглотителей в различные рабочие позиции производят с помощью перевода тяг в позиции 7 и 7', 8 и 8'. Для конфигурации поглотителей, приведенной на Фиг. 3, в рабочем состоянии находятся поглотители 4 и 6, которые поглощают гамма-излучение, приходящее с правого борта, но позволяют регистрировать гамма-излучение приходящее с левого борта. В этом случае поглотители 3 и 5 отведены в сторону и не поглощают гамма-излучение, приходящее с левого борта, а благодаря геометрии своего нового положения обеспечивают коллимацию гамма-излучения, что позволяет повысить направленность зоны поиска и обнаружения источников гамма-излучения. При расположении гамма-поглотителей в позициях 3', 4', 5', 6' гамма-канал будет регистрировать гамма-излучение, приходящее только с правого борта.

Предлагаемая полезная модель позволяет также реализовывать и третий возможный режим работы базового спектро-радиометрического модуля, размещенного на автомобильном носителе. При переводе поглотителей в позиции 3, 4, 5', 6' с помощью тяг 7 и 8' (схема расположения поглотителей показана на Фиг. 3) гамма-канал будет регистрировать гамма-излучение одновременно с левого и правого бортов, но «в пол-силы» с каждого борта, что достаточно для работы устройства в дежурном режиме разведывательно-го радиационного мониторинга.

Схема расположения блоков детектирования и управления спектро-радиометрического модуля для мобильного комплекса РК автомобильного базирования приведена на Фиг. 4. Блоком управления 1, а также всеми детекторами 2 - 4 спектро-радиометрического модуля комплекса РК, размещаемого на автомобильном носителе 5, управляет водитель или оператор, находящиеся в кабине.

Предлагаемый базовый модуль обеспечивает обнаружение делящихся материалов и радиоактивных веществ. Комплекс позволяет также провести идентификацию гамма-источников с помощью спектрометрического гамма-детектора 4, в котором предусмотрен механизм разворота кристаллов NaI:Tl относительно вертикальной оси на 180° .

Приведенный в настоящем примере базовый спектро-радиометрический модуль для автомобильного комплекса РК с одним нейтронным счетным детектором и четырьмя пластиковыми сцинтилляционными блоками детектирования обеспечивает, согласно оценке, дальность обнаружения источников нейтронов до 107 метров, а дальность обнаружения гамма-квантов (соответствующая пороговым уровням обнаружения источника ^{137}Cs активностью 1,5МКи (56МБк)) до 81 метра.

Оценка дальности обнаружения источников ионизирующих излучений (нейтроны и гамма-кванты) для базового спектро-радиометрического модуля автомобильного бази-

рования проведена в соответствии методикой, изложенной в патенте РФ 2140660, МПК G01T 1/167 (заявл.10.02.1996. Оpubл. 27.10.1999. Бюл № 30).

При масштабировании нейтронного и гамма-каналов путем кратного увеличения числа нейтронных детекторов (от 1-го до 3-х) или сцинтилляционных блоков (от 2-х до 8-ми) эффективность регистрации нейтронов и гамма-излучения увеличивается.

Пример 2. Базовый спектро-радиометрический модуль для железнодорожного комплекса радиационного контроля.

Базовый спектро-радиометрический модуль для железнодорожного комплекса радиационного контроля, Фиг. 5, включает, как и для случая комплекса РК автомобильного базирования, один стационарный счетный нейтронный детектор 2, состоящий из ^3He -счетчиков, стационарный счетный гамма-канал детектирования 3, состоящий из 4-х пластиковых сцинтилляционных блоков детектирования, один стационарный спектрометрический гамма-детектор 4 на основе кристаллов NaI:Tl, программный блок управления и обработки сигналов 1. Такой модуль предназначен для установки на железнодорожных путевых машинах и платформах 5 для проведения радиационного мониторинга железнодорожного полотна, прилегающих к нему территорий, а также радиационного мониторинга тоннелей и мостов. Базовый спектро-радиометрический модуль для комплекса радиационного контроля железнодорожного базирования по принципу работы и техническим характеристикам аналогичен базовому спектро-радиометрическому модулю комплекса радиационного контроля автомобильного базирования. Для описанной комплектации он обладает теми же характеристиками дальности обнаружения, что и комплекс автомобильного базирования в примере 1. В пределах расчетной дальности базовый модуль обеспечивает обнаружение делящихся материалов и радиоактивных веществ. Комплекс позволяет также провести идентификацию гамма-источников с помощью спектрометрического гамма-детектора 4.

Пример 3. Базовый спектро-радиометрический модуль для морского комплекса радиационного контроля.

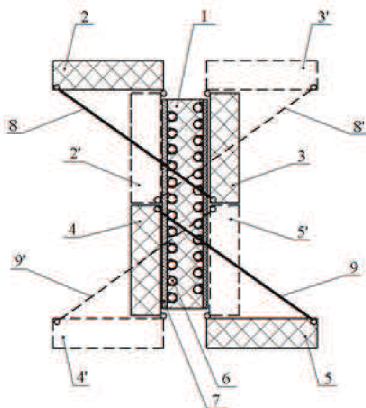
Базовый спектро-радиометрический модуль для морского комплекса радиационного контроля, Фиг. 6, включает, как и для случая комплекса РК автомобильного базирования, один стационарный счетный нейтронный детектор 2, состоящий из ^3He -счетчиков, стационарный счетный гамма-канал детектирования 3, состоящий из 4-х пластиковых сцинтилляционных блоков детектирования, один стационарный спектрометрический гамма-детектор 4 на основе кристаллов NaI:Tl, программный блок управления и обработки сигналов 1. Такой модуль предназначен для установки на кораблях, катерах, морских пароммах и других плавающих средствах 5. Базовый спектро-радиометрический модуль для комплекса радиационного контроля морского базирования по принципу работы и техническим характеристикам аналогичен базовому спектро-радиометрическому модулю комплекса радиационного контроля автомобильного базирования. Базовый спектро-радиометрический модуль для комплекса радиационного контроля морского базирования по принципу работы и техническим характеристикам аналогичен базовому спектро-радиометрическому модулю комплекса радиационного контроля автомобильного базирования. Для описанной комплектации он обладает теми же характеристиками дальности обнаружения, что и комплекс автомобильного базирования в примере 1. В пределах расчетной дальности базовый модуль обеспечивает обнаружение делящихся материалов и радиоактивных веществ. Модуль позволяет также провести идентификацию гамма-источников с помощью спектрометрического гамма-детектора 4.

Базовый спектро-радиометрический модуль для мобильных комплексов радиационного контроля предусматривает, помимо полной универсальной комплектации, включающей одновременно нейтронные и гамма-детекторы, минимальную комплектацию, которая включает в себя только нейтронные или только гамма-детекторы.

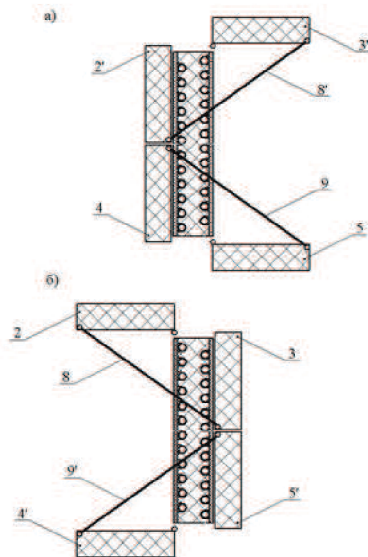
Предлагаемая модель базового спектро-радиометрического модуля для мобильных комплексов радиационного контроля пригодна также и для мониторинга подводных объектов, таких как подводные захоронения радиоактивных отходов, затонувшие ядерные субмарины, шельфовые месторождения урановых руд при установке модуля на подводных судах.

Формула полезной модели

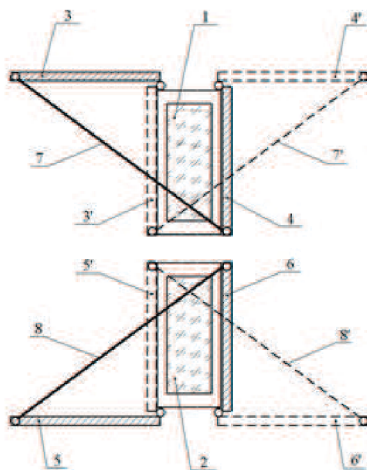
Базовый спектро-радиометрический модуль для мобильных комплексов радиационного контроля, размещаемых на автомобильных, железнодорожных или морских носителях для обнаружения источников нейтронного и гамма-излучений – делящихся материалов и радиоактивных веществ, включающий один или несколько стационарных счетных нейтронных детекторов, состоящих из ^3He -счетчиков, стационарный счетный гамма-канал детектирования, состоящий из нескольких пластиковых сцинтилляционных блоков детектирования, один спектрометрический гамма-детектор на основе кристаллов NaI:Tl, программный блок управления и обработки сигналов, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что он содержит дополнительные элементы управления работой нейтронных и гамма-детекторов с переменной геометрией рабочих позиций этих элементов управления, а именно каждый счетный нейтронный детектор дополнительно содержит 4 замедлителя нейтронов из водородсодержащего материала с меняющейся геометрией рабочей позиции каждого замедлителя, каждый сцинтилляционный блок детектирования счетного гамма-канала дополнительно содержит 2 свинцовых поглотителя гамма-излучения по одному с каждой стороны блока с меняющейся геометрией рабочих позиций поглотителей, а спектрометрический гамма-детектор имеет возможность разворота кристаллов NaI:Tl вместе с фотоприемником на 180° внутри своего корпуса.



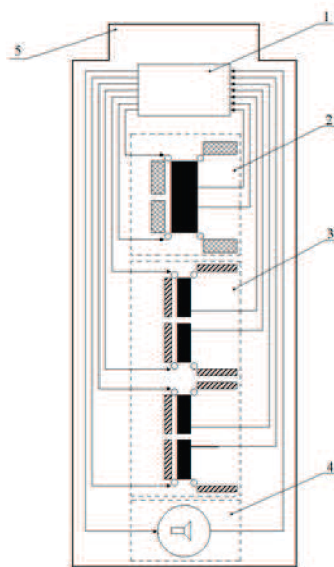
Фиг. 1.



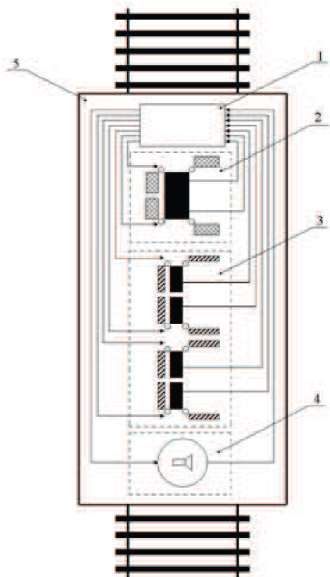
Фиг. 2.



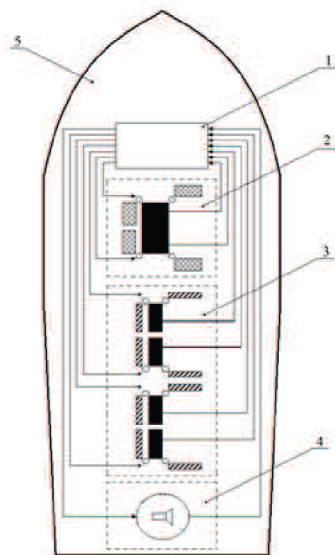
Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

Пат. 101772 РФ на полезную модель. Трубчатая светодиодная лампа / Е. В. Моисейкин, К. О. Хохлов, М. Л. Черный. Заявл. 09.02.2010; опубл. 27.01.2011. Бюл. № 3.

Реферат

Заявленная полезная модель относится к области светотехники, в частности к осветительным устройствам с применением комбинаций источников света.

Трубчатая светодиодная лампа содержит оптически прозрачную трубку, в качестве источника света используются точечные светодиоды, расположенные на трех и более продольных электронных платах, установленных внутри трубки, при этом в поперечном сечении лампы платы располагаются таким образом, чтобы образовать равносторонний многоугольник.

Технический результат заключается в расположении источников света – светодиодов – равномерно в плоскости поперечного сечения трубчатой лампы, тем самым формируется равномерный световой поток в радиальном направлении.

Описание полезной модели

Полезная модель относится к области светотехники, в частности к осветительным устройствам с применением светодиодных источников света, используемым в светильниках, предназначенных для общего и местного освещения помещений, а также специальных назначений.

Известен светодиодный источник света, содержащий силовой выпрямитель и светодиоды, установленные на теплопроводящем основании (Патент на полезную модель №75002 U1, МПК F21S8/00, F21H103/00, опубл. 2008.07.20).

Известна трубчатая лампа со светодиодами, расположенными на теплоотводящих торцевых радиаторах-основаниях трубки (Патент на полезную модель №69612 U1, МПК F21S 4/00, опубл. 2007.12.27), которая выбрана в качестве прототипа.

Указанная трубчатая лампа содержит оптически прозрачную трубку, в качестве источника света использована комбинация из точечных светодиодов, расположенных на теплоотводящих торцевых радиаторах-основаниях трубки и направленных навстречу друг другу, с одним или несколькими фокусирующими линзовыми оптическими элементами и светотражающей поверхностью вокруг светодиодов, а также со светопреломляющей и светорассеивающей спиралью на поверхности трубки. Также на торцах трубки лампы имеются токопроводящие вилки (цоколи) такого же вида и размера, как у трубчатых люминесцентных ламп соответствующего типоразмера.

К недостаткам указанной трубчатой светодиодной лампы, следует отнести сложность конструкции, значительные потери светового потока на конструктивных элементах лампы (линзы, спираль, корпус лампы), неравномерность распределения светового потока по длине лампы, явное несоответствие получаемого светового потока требованиям ГОСТ 6825-91.

Заявляемая полезная модель описывает устройство, которое обеспечивает равномерный световой поток, как по длине лампы, так и в радиальном направлении.

Указанная задача решается тем, что в устройство, содержащее оптически прозрачную трубку, источник света в виде комбинации точечных светодиодов, причем на торцах трубки лампы установлены токопроводящие вилки такого же вида и размера, как у трубчатых люминесцентных ламп соответствующего типоразмера, отличающаяся тем, что светодиоды смонтированы на продольных электрических печатных платах, платы установлены в трубку с образованием в поперечном сечении лампы равностороннего многоугольника.

Тем самым достигается равномерность распределения светового потока в радиальном направлении.

На фиг. 1 и фиг. 2 представлены поперечные сечения ламп с установленными тремя (фиг. 1) и четырьмя (фиг. 2) электрическими платами со светодиодами, лампы содержат: 1 – светодиоды, 2 – платы, 3 – трубка, 4 – направления светового потока от светодиода.

Полая труба 3, изготовленная преимущественно из акрила, поликарбоната или другого светопрозрачного материала, является несущим корпусом лампы. Может использоваться трубка со светорассеивающей внутренней и/или внешней поверхностью, а также матовая.

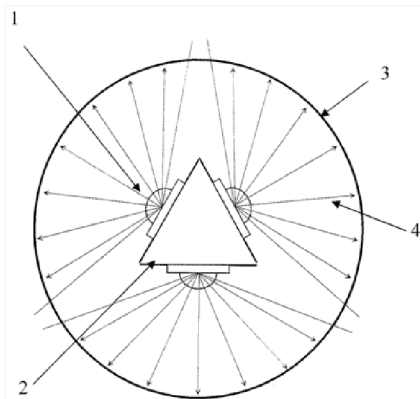
На торцах лампы установлены токопроводящие вилки (цоколи) такого же вида и размера, как у трубчатых люминесцентных ламп соответствующего типоразмера. В цоколях предусмотрены крепления для фиксации плат в требуемом положении.

Техническим результатом является трубчатая светодиодная лампа, обеспечивающая равномерный световой поток, как по длине лампы, так и в радиальном направлении.

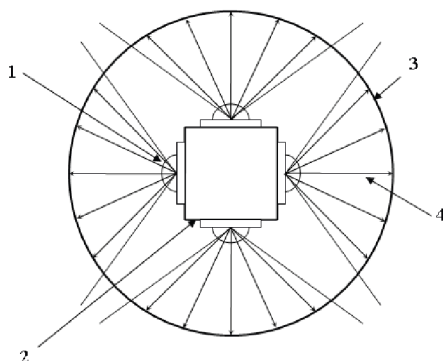
Формула полезной модели

1. Трубчатая светодиодная лампа, содержащая оптически прозрачную трубку, источник света в виде комбинации точечных светодиодов, причем на торцах трубки лампы установлены токопроводящие вилки такого же вида и размера, как у трубчатых люминесцентных ламп соответствующего типоразмера, отличающаяся тем, что светодиоды смонтированы на продольных электрических печатных платах, платы установлены в трубку с образованием в поперечном сечении лампы равноугольного многоугольника.

2. Трубчатая светодиодная лампа по п.1, отличающаяся тем, что для увеличения светового потока поверхность вокруг светодиодов выполнена из светоотражающего или зеркального материала.



Фиг. 1



Фиг. 2

Патент №. 101929 РФ на полезную модель. Магнитотерапевтическая установка / А. П. Волобуев, П. В. Волобуев, С. Ф. Конев, Е. В. Усков, Б. В. Шульгин. Заявл. 26.07.2010, опубл. 10.02.2011. Бюл. № 11.

Реферат

Применение: для магнитотерапии. Сущность: для создания низкочастотного, знакопеременного импульсного магнитного поля, включающая размещенные на консоли привод с опорным диском и постоянные магниты, причем в качестве постоянных магнитов используют два магнита с противоположной ориентацией магнитного поля, имеющие состав FeNbB, магниты закреплены на концах установленного соосно с опорным диском держателя с возможностью поворота последнего относительно опорного диска в пределах угла, ограниченного положением двух подпружиненных упоров, размещенных на диске, и подпружиненного фиксатора, размещенного на консоли. Технический результат: повышенная эффективность подавления функций злокачественных опухолей.

Описание полезной модели

Полезная модель относится к области биомедицинской инженерии, связанной с разработкой магнитотерапевтических установок, предназначенных для использования в практической медицине и в ветеринарной практике с оздоровительными и лечебными целями, особо для подавления функций и разрушения клеток злокачественных опухолей.

Как показывает обзор патентных разработок и специальной литературы по системам комплексной электромагнитотерапии, для избирательного подавления функций и разрушения клеток злокачественных опухолей с расширенным спектром их локализации требуется использование средних (с индукцией В на уровне 50–500 мТл) и сильных (с индукцией В больше 500 мТл) низкочастотных ($\nu = 1\text{--}15$ Гц) импульсных знакопеременных магнитных полей по форме близкой к прямоугольной. Магнитные поля с амплитудой индукции на уровне единиц мТл могут вызывать только лечебные эффекты; магнитные поля, превышающие 100 мТл, могут приводить к неадекватным последствиям для опухолевых клеток, угнетая их функции и приводя к разрушению. Поля с амплитудой индукции 1000 мТл и более могут поражать и здоровые клетки. Все известные магнитотерапевтические установки и аппараты, рассмотренные ниже в качестве аналогов и прототипа, реализованы с учетом этих факторов.

Известен магнитотерапевтический аппарат, применяемый в послеоперационный период при лечении генерализированной формы меланомы, используемый для стимулирования нейроэндокринной системы путём синхронного воздействия на всё тело пациента инфранизкочастотным периодическим электромагнитным полем (ЭМП) (Н.Г. Бахмутский. Лечение генерализированной формы меланомы кожи вихревым магнитным полем // Российский онкологический журнал. – 2000. № 6, с. 32-35). Известный магнитотерапевтический аппарат обеспечивает создание вращающегося магнитного поля с частотой (50–100) Гц с амплитудой ~ 3 мТл. Из-за низкой величины индукции известный магнитотерапевтический аппарат непригоден для локального подавления функций и разрушения клеток злокачественных новообразований.

Известна магнитотерапевтическая установка для создания прерывистого магнитного поля с частотой 50 Гц, синусоидальном ЭМП и амплитудой индукции ~ 40 мТл (А.с. № 522688 СССР, МПК А61Н 1/42. А.К. Панков, М.А. Уколова, Е.Б. Квакина, Л.Х. Гаркави, Е.Н. Бражникова, Р.Н. Салатов, Г.Р. Соловьёва, В.А. Ерёмин. Опубл. 05.03.77. Бюл. 9). Однако известная магнитотерапевтическая установка, используемая для воздействия на злокачественные опухоли, может обеспечить амплитуду ЭМП на уровне 40 мТл, что приводит лишь к размягчению злокачественной опухоли, а не к деструкции её клеток.

Известна магнитотерапевтическая установка для воздействия на злокачественные опухоли импульсным магнитным полем с амплитудой (5–80) мТл. (Патент RU 2014853 С1. МПК А61N 2/04, авторы Бессонов Б.П., Алфёров А.Т., заявл. 31.01.1992, опубл. 30.05.1994 г). Апробация установки проводилась с использованием частот следования (0,2–2,0) Гц на пациентах с различными локализациями опухолей. Однако спустя 24 месяца после воздействия на опухоли магнитным полем с амплитудой индукции (5–80) мТл из числа испытуемых остались живы только (13–20)% пациентов. То есть недостатком известной магнитотерапевтической установки является низкая эффективность воздействия на злокачественные опухоли, что обусловлено малой амплитудой индукции используемого магнитного поля.

Известно применение магнитотерапевтической установки с амплитудой индукции (1140–1800) мТл для лечения саркомы М1 у 46 беспородных крыс (М.А. Каплан, Р.Г. Никитина, М.Е. Климанов, А.И. Лодыгина, Н.Д. Яковлева, В.В. Дрожжина. / Перспективы применения высокоинтенсивных импульсных магнитных полей в лечении злокачественных новообразований // Российский онкологический журнал. 1998 № 5. С. 34–37). Облучение вызвало деструктивные изменения в опухолях, приводящие к торможению их роста или полной регрессии. Наиболее эффективным оказалось воздействие на опухоли магнитного поля с частотой 16 Гц. Недостатком известной магнитотерапевтической установки является то, что ее применение вызывает термические повреждения, обусловленные разогревом индуктора (аппарат ГСИМП-1) и требует периодического охлаждения индуктора льдом.

Известны магнитотерапевтические аппараты высокоинтенсивной низкочастотной импульсной терапии, которые генерируют микросекундные импульсы. (Системы комплексной электромагнитной терапии. Учебное пособие для вузов. Под ред. А.М.Беркутова и др., М.Лаборатория Базовых знаний. 2000. с. 9–13). Параметры магнитного поля таких аппаратов имеют следующие значения:

- амплитуда индукции до 1500 мТл, длительность пакетов импульсов и пауз 1,5 с, частота изменения магнитного поля в пакете импульсов 700, 1000 Гц (аппарат «Полус-101»);
- амплитуда индукции до 1300 мТл, частота следования импульсов (2–16) Гц, длительность импульсов (220–110) мкс (аппарат «Тесламед»).

Однако известные магнитотерапевтические аппараты предназначены лишь для стимулирования различных лечебных эффектов путем местного воздействия на пораженный орган и не предназначены для подавления функций или разрушения клеток злокачественных опухолей.

Известна магнитотерапевтическая установка, которая обеспечивает локальное облучение злокачественной опухоли высокоинтенсивным (индукция магнитного поля 120–220 мТл) знакопеременным импульсным инфранизкочастотным полем (Патент RU 2376043 С1 МПК А61N 2/04, авторы Донник И.М., Волобуев А.П., Усков Е.Д., заявл. 12.05.2008, опубл. 20.12.2009, бюлл. № 35). Объектом воздействия служили беспородные собаки со злокачественными опухолями молочных желёз. В процессе облучения животные помещались между двумя соосными катушками индуктора магнитного поля. Установлена избирательность воздействия такого поля по отношению к здоровым тканям и необратимость последствий воздействия на опухолевые ткани, приводящая к статистически достоверному лечебному успеху – параморфозу II степени выраженности.

Однако применение в известной установке катушек индуктивности в качестве индуктора не является оптимальным, поскольку они вызывают разогрев биообъекта из-за повышенной амплитуды тока в катушках индуктора (ток 27 А, потребляемая мощность – 1,5 кВт), что требует применения дополнительного блока для охлаждения системы.

Наиболее близкой к заявляемой является известная магнитотерапевтическая установка для генерации магнитных полей с применением эластичных магнитов-

магнитофоров (Патент РФ № 2080891. МПК A61N 2/12, автор Малашенок В.В., заявл. 15.05.1992, опубл. 10.06.1997). Известная магнитотерапевтическая установка генерирует магнитные поля под углом ϕ друг к другу. Она содержит привод с опорным диском, на котором закреплены три группы элементов из магнитофоров. На основании диска укреплен экран из магнитонепроводного материала с отверстием. На одном уровне с отверстием установлен дополнительный источник магнитного поля, выполненный в виде группы элементов из магнитофора, аналогичный остальным группам. В точке пересечения осей отверстия и дополнительного источника магнитного поля при вращении диска формируется суммарное пульсирующее магнитное поле, интенсифицирующее биохимические процессы на облучаемом участке тела. Однако уровень магнитной индукции известного формирователя магнитного поля явно недостаточен для подавления функций злокачественных опухолей, поскольку магнитофор обладает невысокой коэрцитивной силой.

Задачей полезной модели является разработка магнитотерапевтической установки на основе постоянных магнитов, обеспечивающей формирование низкочастотных, регулируемых в диапазоне 1–15 Гц импульсов знакопеременного магнитного поля близких по форме к прямоугольным с амплитудой индукции магнитного поля в диапазоне значений, достаточных для подавления функций злокачественных опухолей (100–1000 мТл) без разогрева объектов воздействия.

Решение задачи по разработке магнитотерапевтической установки для создания низкочастотных, знакопеременных, регулируемых в диапазоне 1–15 Гц, импульсов магнитного поля, связано с использованием постоянных магнитов, закрепленных на вращающемся диске с приводом, причем в качестве постоянных магнитов используют магниты с большой коэрцитивной силой типа FeNbV или SmCo, которые имеют противоположную ориентацию магнитного поля и закреплены на концах держателя магнитов, выполненного в виде стержня, вращающегося вместе с диском, причем для регулируемой приостановки стержня с магнитами вне диска, но в плоскости его вращения предусмотрен фиксатор, угол смещения стержня относительно диска устанавливается двумя упорами, положение одного из которых регулируется винтом и пружиной.

Магнитотерапевтическая установка (Фиг. 1) состоит из приборной панели-консоли 1, шкива 2, диска 3, держателя магнитов в виде стержня 4, корпуса 5, лечебной рабочей зоны 6, двух постоянных магнитов 7 (типа NdFeB или SmCo) с остаточной индукцией 1000 мТл, упоров (А и В) 8 на диске, фиксатора 9, электродвигателя 10. Диск 3 расположен на оси шкива 2, приводимого в движение двигателем 10. Держатель магнитов, выполненный в виде стержня, закреплен на диске и имеет возможность поворота относительно диска. Магниты съемные, они расположены на концах стержня-держателя. Магниты имеют противоположную ориентацию магнитного поля, так что при вращении диска магнитное поле от них в рабочей лечебной зоне периодически меняет направление на противоположное. Период таких изменений определяется скоростью вращения диска. Использование съемных магнитов позволяет изменять размеры рабочей зоны 6. Держатель магнитов, выполненный в виде стержня 4 (Фиг. 2), поворачивается относительно диска на регулируемый угол β от 0 до 45 градусов, который задается положениями установленных на диске 3 упоров А и В, обозначенных на Фиг. 2 цифрой 8. Пружина 12, также установленная на диске, прижимает стержень к упору А. По другую сторону от стержня расположен упор В, местоположение которого можно менять регулировочным винтом 11, регулируя угол возможного поворота стержня. На противоположной от лечебной области стороне установлен неподвижный пружинный фиксатор 9, закрепленный на панели-консоли 1, который располагается в плоскости диска со стороны двигателя 10. Устройство помещается в пластиковый корпус, обеспечивающий безопасное для пациента использование магнитотерапевтической установки.

Магнитотерапевтическая установка работает следующим образом. Знакопеременное магнитное поле с требуемой величиной магнитной индукции (не менее 110 мТл в рабочей зоне), создается с помощью закрепленных на вращающемся диске магнитов типа NdFeB или SmCo с остаточной индукцией 1000 мТл. Вращение диска обеспечивается электродвигателем с регулируемой скоростью. Путем изменения скорости вращения диска подбирают оптимальный для данного пациента лечебный режим смены направления поля и длительность его избирательного воздействия на область опухоли. Длительность лечебного воздействия одного импульса зависит от размера магнита и от скорости вращения. Требуемую величину магнитного поля в пределах 110 – 250 мТл (или в более широких пределах) подбирают путем изменения расстояния от диска до участка тела пациента, подлежащего воздействию на него знакопеременным магнитным полем. Увеличение длительности лечебного воздействия магнитного поля обеспечивается за счет неравномерного вращения магнитов 7 с небольшими их остановками именно в области лечебного воздействия. Это происходит следующим образом. При вращении диска стержень с магнитами 7 набегает на фиксатор 2, и вращение стержня приостанавливается, а вращение диска продолжается, что вызывает сжатие пружины 8. Через некоторое время стержень 4 достигает регулируемый упор В и увлекает его за собой, поджимая пружинный фиксатор. Пружина стержня расправляется и возвращает стержень в исходное к упору А состояние. Через пол-оборота ситуация повторяется. Время приостановки магнита составляет $T = \beta/\omega$, где β – угол поворота стержня между двумя упорами, ω – угловая скорость вращения диска. Неравномерное движение магнитной системы, состоящей из двух магнитов 7, обеспеченное такой конструкцией, позволяет, во-первых, сформировать плоскую часть вершины магнитного импульса и регулировать ее длительность, во-вторых, значительно уменьшить время спада заднего фронта импульса за счет ускоренного вращения стержня после прохождения фиксатора (Фиг. 3). Пружина фиксатора имеет жесткость выше жесткости пружины стержня, поэтому фиксированная приостановка магнита при заданной скорости вращения диска позволяет регулировать скважность режима лечебного воздействия, регулировать соотношение продолжительностей импульсов и пауз.

Имеется два варианта крепления постоянных магнитов на держателе, отличающихся ориентацией постоянных магнитов. В первом варианте магниты сориентированы так, что их магнитное поле, создающее лечебный эффект, расположено в плоскости, перпендикулярной оси вращения диска. В другом варианте, магниты сориентированы так, что область лечебного поля расположена на краю диска в плоскости параллельной оси вращения. Это допускает изменение ориентации магнитного поля относительно биообъекта. Магниты являются съёмными и взаимозаменяемыми. Крепление магнитов на стержне позволяет достаточно быстро менять их ориентацию, заменять один вариант расположения магнитов на другой, что позволяет регулировать размеры рабочей зоны (путём замены магнитов).

Предлагаемая полезная модель магнитотерапевтической установки позволяет выполнять следующие процедуры:

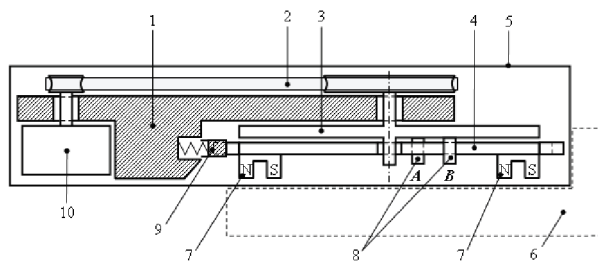
- воздействие на биообъект знакопеременными импульсами магнитного поля по форме близкими к прямоугольным с амплитудой индукции в лечебной зоне не менее 110 мТл.
- регулировку несущей частоты импульсов в диапазоне 1–15 Гц;
- регулировку скважности (соотношения продолжительности импульсов и пауз) для каждой частоты следования импульсов.

Дополнительным преимуществом предлагаемой магнитотерапевтической установки является возможность осуществления воздействия на биообъект с использованием двух возможных ориентаций магнитного поля относительно биообъекта: область ле-

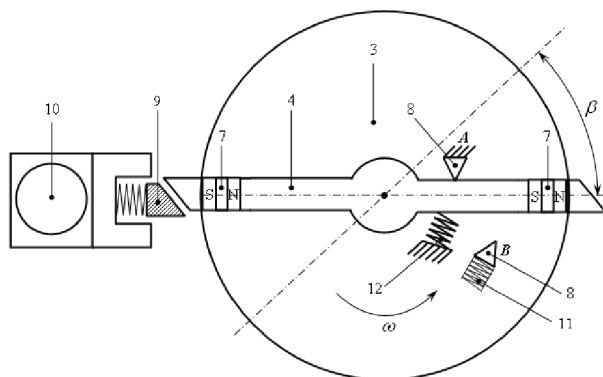
чебного поля может быть расположена в плоскости, перпендикулярной оси вращения диска или в плоскости параллельной оси его вращения.

Формула полезной модели

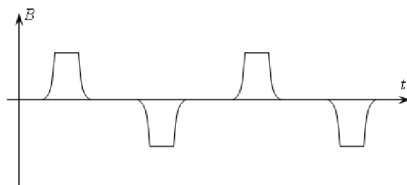
Магнитотерапевтическая установка для создания низкочастотного, знакопеременного импульсного магнитного поля, включающая размещенные на консоли привод с опорным диском и постоянные магниты, отличающаяся тем, что в качестве постоянных магнитов используют два магнита с противоположной ориентацией магнитного поля, имеющие состав FeNbB , магниты закреплены на концах установленного соосно с опорным диском держателя с возможностью поворота последнего относительно опорного диска в пределах угла, ограниченного положением двух подпружиненных упоров, размещенных на диске, и подпружиненного фиксатора, размещенного на консоли.



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Патент. № 102143 РФ на полезную модель. Единичная светодиодная лампа / Е. В. Моисейкин, К. О. Хохлов, М. Л. Черный. Заявл. 27.05.2010; опубл. 10.02.2011. Бюл. № 4.

Реферат

Полезная модель относится к светотехническим устройствам и может быть использована при конструировании светодиодных осветительных приборов, применяемых в различных областях: быту, офисах, производстве, науки и техники.

Техническим результатом заявленной полезной модели является повышение КПД, уменьшение размеров, массы, габаритов и стоимости и возможность монтажа электрических компонентов лампы в ее корпусе. Для достижения вышеуказанного технического результата предлагается новая конструкция единичной светодиодной лампы, содержащую основание с токопроводящими площадками, входными клеммами или цоколем и единичные светодиоды, выводы которых закреплены на токопроводящих площадках основания и соединены между собой последовательно в цепь, подключенную к входным клеммам или цоколю основания через последовательно соединенные двухполупериодный выпрямитель, балластный конденсатор С1 и токоограничительный резистор R1. К цепи последовательно соединенных светодиодов параллельно подключен фильтрующий конденсатор С2. Номинальные значения электрических компонентов рассчитываются таким образом, что емкость балластного конденсатора определяется из выражения

$$C1 = \left(2\pi \cdot f \sqrt{\left(\frac{U_s}{I_{HL}} \right)^2 - \left(\frac{n \cdot U_{HL}}{I_{HL}} \right)^2} \right)^{-1},$$

где n – количество светодиодов; U_{HL} – напряжение на единичном светодиоде; I_{HL} – номинальный прямой ток через светодиод; U_s – действующее напряжение питающей сети; f – частота питающей сети. Емкость конденсатора определяется из выражения

$$C2 \geq \frac{100 \cdot I_{HL}}{\Delta \cdot 2 \cdot f \cdot n \cdot U_{HL}},$$

где Δ – коэффициент допустимых пульсаций, выраженный в процентах, а сопротивление токоограничительного резистора определяется из выражения

$$R1 = \frac{U_{smax}}{I_{VDSpeak}},$$

где U_{smax} – амплитудное напряжение питающей сети; $I_{VDSpeak}$ – допустимый максимальный однократный импульс тока через двухполупериодный выпрямитель.

Описание полезной модели

Полезная модель относится к светотехническим устройствам и может быть использована при конструировании светодиодных осветительных приборов, применяемых в различных областях: быту, производстве, науки и техники.

На фиг. 1 представлена электрическая принципиальная схема лампы (Свидетельство на полезную модель RU № 74520, Единичная светодиодная лампа), предназначенной для работы в качестве осветительного устройства. Схема содержит основание с токопроводящими площадками (на рисунке не показаны), входными клеммами или цоколем U_s , последовательно соединенные и подключенные к токопроводящим площадкам основания, единичные светодиоды HL1, HL2...HLn. В свою очередь цепь из последова-

тельно соединенных светодиодов HL1, HL2....HLn подключена к входным клеммам или колодку U_s основания через последовательно соединенные со светодиодами HL1, HL2...HLn двухполупериодный выпрямитель (диодный мост) VDS1, балластный (гасящий) конденсатор C1 и токоограничительный резистор R1. Причем емкость гасящего конденсатора C1 определяется из выражения:

$$C1 \leq \frac{I_{HL}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (U_s - U_{HL} \cdot n)}, \quad (1)$$

где C1 – емкость гасящего конденсатора; I_{HL} – величина тока, протекающего через светодиоды, численное значение которого не превышает предельно допустимое значение тока светодиодов лампы; f – частота промышленной сети; U_s – напряжение промышленной сети; U_{HL} – падение напряжения на единичном светодиоде; n – количество единичных светодиодов.

Для ограничения тока, протекающего через диодный мост служит токоограничительный резистор R1, численное значение которого определяется из выражения:

$$R1 = \frac{U_{smax}}{I_{VDSmax}}, \quad (2)$$

где R1 – величина сопротивления токоограничительного резистора; U_s – напряжение промышленной сети; I_{VDSmax} – величина тока, протекающего через диодный мост, численное значение которого не должно превышать предельно допустимое значение тока для диодного моста. Для уменьшения пульсаций величины тока, протекающего через, последовательно соединенные светодиоды, за счет возможных колебаний напряжения промышленной сети, параллельно цепи из последовательно соединенных светодиодов HL1, HL2... HLn включен фильтрующий (накопительный) конденсатор C2, емкость которого определяется из выражения:

$$C2 \geq \frac{1}{f \cdot R1}. \quad (3)$$

Данное устройство выбрано в качестве прототипа. Прототип позволяет работать при случаях, когда напряжение на светодиодах значительно меньше величины питающего напряжения сети (например 220В), т.к. формула (1) для расчета емкости балластного конденсатора не учитывает сдвиг фаз между током и напряжением в реактивном элементе. Величина сопротивления ограничительного резистора рассчитана исходя из величины максимального тока диодного моста, величина которого значительно меньше, чем максимальный однократный импульс тока через диодный мост, следовательно, на ограничительном резисторе рассеивается значительная активная мощность и снижается КПД лампы в целом. Расчет фильтрующего конденсатора проведен по эмпирической формуле (2), в которой учтено сопротивление токоограничительного резистора (тогда как основные пульсации возникают в результате разряда фильтрующего конденсатора током, протекающем через светодиоды) и приводит к неоправданно завышенному значению его емкости, что увеличивает габариты, массу и стоимость устройства в целом.

Заявляемая полезная модель описывает электрическую схему лампы, которая устраняет вышеперечисленные недостатки, имеет оптимальные номиналы компонентов и позволяет разместить все компоненты в корпусе лампы. Поставленная задача решается использованием других электрических компонентов схемы с номиналами, определяемыми исходя из оптимальных условий, руководствуясь формулами из электротехнической литературы и соответствующими нормативными документами.

Электрическая принципиальная схема предлагаемой светодиодной лампы лампы соответствует фиг. 1. Схема содержит основание с токопроводящими площадками (на

рисунке не показаны), входными клеммами или цоколем, последовательно соединенные и подключенные к токопроводящим площадкам основания единичные светодиоды HL1, HL2...HLn. В свою очередь цепь из последовательно соединенных светодиодов HL1, HL2...HLn подключена к входным клеммам или цоколю U_S основания через последовательно соединенные со светодиодами HL1, HL2...HLn двухполупериодный выпрямитель (диодный мост) VDS1, балластный конденсатор C1 и токоограничительный резистор R1. Параллельно цепи из последовательно соединенных светодиодов HL1, HL2...HLn подключен фильтрующий конденсатор C2.

Устройство работает следующим образом. Переменное напряжение сети U_S подается на последовательно включенные светодиоды HL1...HLn через последовательно соединенные конденсатор C1, мостовой выпрямитель VDS1 и резистор R1. Цепь из светодиодов HL1, HL2...HLn можно представить активной цепью с сопротивлением:

$$R = \frac{n \cdot U_{HL}}{I_{HL}}, \quad (4)$$

где n – количество светодиодов; U_{HL} – напряжение на единичном светодиоде; I_{HL} – номинальный прямой ток через светодиод. Следовательно, емкость балластного конденсатора C1, как реактивного сопротивления, можно вычислить по формуле (А. С. Касаткин, М. В. Немцов. Электротехника: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 1999. – 542 с.):

$$C_1 = \left(2\pi \cdot f \cdot \sqrt{\left(\frac{U_S}{I_{HL}} \right)^2 - R^2} \right)^{-1} = \left(2\pi \cdot f \cdot \sqrt{\left(\frac{U_S}{I_{HL}} \right)^2 - \left(\frac{n \cdot U_{HL}}{I_{HL}} \right)^2} \right)^{-1}, \quad (5)$$

где U_S – действующее напряжение питающей сети; f – частота питающей сети. Конденсатор C1 является реактивным сопротивлением, следовательно, не потребляет энергии. Вследствие этого, основная доля энергии рассеивается только на светодиодах, что свидетельствует о высоком коэффициенте полезного действия светодиодной лампы.

По требованию санитарных норм (Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) интенсивность мерцания света (так называемый стробоскопический эффект) не должен превышать значения от 5 до 20% в зависимости от места освещения. Интенсивность мерцания светодиода пропорционально пульсациям тока через него, поэтому в схему введен конденсатор C2, который является фильтрующим. Степень разряда C2 определяется, в основном, сопротивлением цепи последовательно соединенных светодиодов R (а не R1, как в прототипе), следовательно, минимальную емкость C2 можно вычислить по формуле:

$$C2 \geq \frac{100}{\Delta \cdot 2 \cdot f \cdot R} = \frac{100 \cdot I_{HL}}{\Delta \cdot 2 \cdot f \cdot n \cdot U_{HL}}, \quad (6)$$

где Δ – коэффициент допустимых пульсаций, выраженный в процентах. Коэффициент 2 перед f появился вследствие того, что для двухполупериодных (в том числе мостовых) выпрямителей частота пульсаций в 2 раза выше, чем частота питающей сети. Наличие конденсатора C2 приводит к тому, что в момент включения возникает импульс тока, заряжающий конденсатор C2. Для ограничения пускового тока в схему введен токоограничительный резистор R1, сопротивление которого рассчитывается по формуле:

$$R1 = \frac{U_{S_{max}}}{I_{VDS_{peak}}}, \quad (7)$$

где U_{Smax} – амплитудное напряжение питающей промышленной сети, которое больше действующего значения питающей сети U_s , и равно $\sqrt{2} \cdot U_s$ (А. С. Касаткин, М. В. Немцов. Электротехника: Учеб. для вузов – 6-е изд. перераб. – М.: Высш. шк., 1999. – 542 с.: ил.); $I_{VDSpeak}$ – допустимый максимальный однократный импульс тока через диодный мостовой выпрямитель.

Вследствие того, что такой параметр, как допустимый максимальный однократный импульс тока имеет величину значительно превосходящую параметр предельно допустимого значения тока через выпрямитель (например 30А и 0,8А для модели MB6S фирмы VISHAY), то можно сделать однозначный вывод, что сопротивление резистора R1, рассчитанное по формуле (7) гораздо меньше, чем рассчитанное по формуле (2), что приводит к существенному повышению КПД лампы в целом.

Формула полезной модели

Единичная светодиодная лампа, содержащая основание с токопроводящими площадками, входными клеммами или цоколем и единичные светодиоды, выводы которых закреплены на токопроводящих площадках основания и соединены между собой последовательно в цепь, подключенную к входным клеммам или цоколю основания через последовательно соединенные двухполупериодный выпрямитель, балластный конденсатор C1, токоограничительный резистор R1, причем к цепи последовательно соединенных светодиодов параллельно подключен фильтрующий конденсатор C2, отличающаяся тем, что номинальные значения электрических компонентов рассчитываются таким образом, что емкость балластного конденсатора определяется из выражения

$$C1 = \left(2\pi \cdot f \cdot \sqrt{\left(\frac{U_s}{I_{HL}} \right)^2 - \left(\frac{n \cdot U_{HL}}{I_{HL}} \right)^2} \right)^{-1},$$

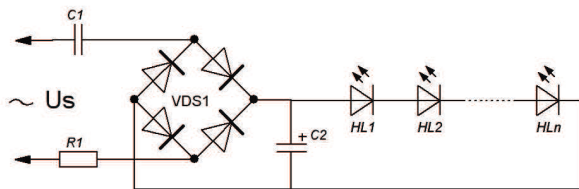
где n – количество светодиодов; U_{HL} – напряжение на единичном светодиоде; I_{HL} – номинальный прямой ток через светодиод; U_s – действующее напряжение питающей сети; f – частота питающей сети; емкость фильтрующего конденсатора определяется из выражения

$$C2 \geq \frac{100 \cdot I_{HL}}{\Delta \cdot 2 \cdot f \cdot n \cdot U_{HL}},$$

где Δ – коэффициент допустимых пульсаций, выраженный в процентах, а сопротивление токоограничительного резистора определяется из выражения

$$R1 = \frac{U_{Smax}}{I_{VDSpeak}},$$

где U_{Smax} – амплитудное напряжение питающей сети; $I_{VDSpeak}$ – допустимый максимальный однократный импульс тока через двухполупериодный выпрямитель.



Фиг. 1

Патент № 105474 РФ на полезную модель. Детектор для регистрации ионизирующих излучений / Б. В. Шульгин, М. Н. Благовещенский, О. Н. Шутов, А. Н. Черепанов, В. Г. Гребняк, А. В. Ищенко, Л. В. Викторов, В. Л. Петров, В. В. Соколкин, Е. М. Голубкин, О. С. Тесленко. Заявл. 14.12.2010; опубл. 10.06.2011. Бюл. № 16

Реферат

Назначение: для дистанционного энгергочувствительного детектирования гамма-излучения и счетного детектирования нейтронов.

Сущность: детектор для регистрации ионизирующих излучений, содержит сцинтилляционный датчик для регистрации излучений, находящееся с ним в оптическом контакте фотоприемное устройство и блок электронной обработки сигналов, причем детектор содержит дополнительный сцинтилляционный датчик, чувствительный к нейтронам, и находящийся с ним в оптическом контакте сместитель спектра из кристалла ортогерманата висмута и дополнительный PIN-фотодиод, дополнительно содержит связанный с блоком электронной обработки сигналов коммуникационный модуль, в качестве сцинтилляционного датчика используют сцинтилляционный спектрометрический кристалл CsI:TI или LaBr₃:Ce, чувствительный к гамма-излучению, в качестве фотоприемного устройства используют PIN-фотодиод. Кроме того, дополнительный сцинтилляционный датчик предлагаемого детектора, чувствительный к нейтронам, выполнен в виде сборки из трех пластин, причем центральная пластина выполнена из кристалла L(Y,Gd)BO₃:Ce или ⁶Li-содержащего силикатного стекла, две пластины, окружающие центральную, выполнены из пластика или стилибена.

Технический результат: компактность, малый вес, регистрация гамма-излучения и нейтронов, возможность создания связанной сети радиационных детекторов.

Описание полезной модели

Полезная модель относится к области дистанционного энгергочувствительного детектирования гамма-излучения и счетного детектирования нейтронов; предназначена как для масштабного радиационного мониторинга селитебных (жилых) зон и объектов окружающей среды, так и для локального мониторинга, в том числе скрытого, помещений в плане поиска, обнаружения и идентификации ядерных делящихся материалов, а также радиоактивных веществ (РВ) по спектру их гамма-излучения (включая поиск гамма-источников с радиацией, наведенной при нейтронном активном зондировании взрывчатых веществ (ВВ)); может быть использована в составе мобильных комплексов радиационного контроля, размещаемых на различных носителях, включая беспилотные летательные аппараты, или как переносной (носимый) детектор для мониторинга помещений.

Известны сцинтилляционные детекторы гамма-излучения, включающие датчик (блок детектирования) и блок электронной обработки сигналов (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.; Пат. 4482808 США), в которых датчик содержит сцинтилляционный неорганический кристалл и фотодетектор (фотоэлектронный умножитель или фотодиод). Сцинтилляционный кристалл (один из щелочно-галоидных кристаллов или один из кристаллов на оксидной основе) имеет обычно цилиндрическую форму диаметром 10⁻¹ 50 мм и высотой 10⁻¹ 50 мм, или он имеет кубическую форму 10×10×10 мм³ при фотодиодной регистрации. Однако детекторы с таким датчиком непригодны для регистрации нейтронного излучения, поскольку датчик не содержит элементы, чувствительные к нейтронам. Кроме того, известные детекторы не поддерживают передачу результатов измерений удаленному пользователю.

Известен сцинтилляционный детектор бета-, гамма- и нейтронного излучения по Пат. 2142147 РФ, содержащий датчик – сцинтилляционный кристалл, например $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ или стильбен, сместитель спектра (в виде тонкой сцинтиллирующей пленки или кристалла) и кремниевый PIN-фотодиод, а также блок электронной обработки сигналов. Однако такой детектор не предназначен для одновременной эффективной регистрации нейтронного и гамма-излучения. Если в качестве сцинтилляционного в датчике используется кристалл $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$, то последний будет регистрировать только гамма-кванты и не будет регистрировать нейтроны. Если в качестве сцинтилляционного кристалла датчик содержит стильбен, то последний будет регистрировать в основном нейтроны. Поскольку в детекторах с диодной регистрацией из-за малых размеров диодов стандартный размер сцинтилляционных кристаллов невелик (обычно кубик $10 \times 10 \times 10 \text{ мм}^3$), то и эффективность регистрации нейтронов и тем более гамма-квантов будет при дистанционных измерениях мала, не выше 1 %. Кроме того, известный детектор не пригоден для спектрометрии гамма-излучения и не поддерживает передачу результатов измерений удаленному пользователю.

Известен детектор нейтронов сцинтилляционного типа с датчиком на базе кристаллов ${}^6\text{LiI}:\text{Eu}$, содержащий изотоп ${}^6\text{Li}$ (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с). Однако такой детектор является гигроскопичным и имеет весьма большую длительность сцинтилляций (1400 нс), что не позволяет обеспечить высокую загрузочную способность детектора. Кроме того, известный детектор не пригоден для спектрометрии гамма-излучения и не поддерживает передачу результатов измерений удаленному пользователю.

Известный селективный детектор нейтронов по Пат. 3688118 США содержит два датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, в то время как другой чувствителен только к заряженным частицам; число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом с этих датчиков, выделяемым с помощью разностной схемы электронного блока. Однако возможность применения такого детектора для регистрации и спектрометрии гамма-излучения в Пат. 3688118 США не оговорена. Кроме того, в известном патенте не оговорена также возможность передачи результатов измерений удаленному пользователю.

Известный детектор нескольких излучений (Заявка 0311503 ЕВП (ЕР)) имеет датчик, включающий два сцинтилляционных кристалла с зеленым и красным свечением, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой – к низкоэнергетическому, и два фотодиода, выделяющих сигналы с помощью светофильтров (зеленого и красного) и регистрирующий их с помощью блока электронной обработки сигналов. Такой детектор имеет ограниченные области применения, по данным Заявки 0311503 ЕР он пригоден для регистрации рентгеновского излучения с двумя различными энергиями, однако он непригоден для регистрации нейтронов и одновременно для спектрометрии гамма-излучения. Кроме того, известный детектор не поддерживает передачу результатов измерений удаленному пользователю.

Известен детектор надтепловых нейтронов (Пат. 4241253 США), который содержит датчик тепловых нейтронов, защиту от тепловых нейтронов, окружающую этот датчик; замедлитель надтепловых нейтронов, которые проникают через защиту, с тем, чтобы уже замедленные нейтроны легче поглощались счетчиком. Толщина замедлителя и отношение диаметра счетчика к внешнему диаметру замедлителя таковы, что максимальную скорость счета можно получить в случае, когда счетчик полностью заполняет внутренний диаметр защиты от тепловых нейтронов. Однако известный детектор не позволяет регистрировать гамма-излучение и, соответственно, не позволяет обеспечить спектрометрию гамма-излучения. Кроме того, известный детектор не поддерживает передачу результатов измерений удаленному пользователю.

Известен детектор для регистрации ионизирующего излучения по Пат. 4482808 США. Детектор содержит датчик, в частности сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам, и блок электронной обработки сигналов, включающий в себя электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако, известный детектор (Пат. 4482808 США) непригоден для спектрометрии гамма-излучения. Кроме того, в известном патенте не оговорена возможность передачи результатов измерений удаленному пользователю.

Известны детекторы нейтронов (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с), использующие реакцию захвата нейтрона (n, α), сопровождающуюся излучением 3 или 4 гамма-квантов с общей энергией приблизительно 4–8 МэВ. В частности, известен (n, α)-детектор на основе жидкого сцинтиллятора, в который помещены пластинки поглощающего вещества, такого как кадмий (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с). Кадмий поглощает медленные нейтроны и испускает гамма-кванты (реакция (n, α)), которые вызывают световые вспышки в жидком сцинтилляторе. Известен также (n, α)-детектор со сцинтиллятором NaI:Tl, окруженным чехлом из серебра (Прайс В. Регистрация ядерного излучения / В. Прайс. М.: ИИЛ, 1964. 464 с) – серебро имеет большой резонансный пик для реакции (n, α). Серебро эффективно поглощает нейтроны резонансных энергий вследствие реакции (n, α) и испускает гамма-кванты, которые регистрируются сцинтилляционным кристаллом NaI:Tl. Однако такие детекторы очень дороги из-за высокой стоимости кадмия и серебра и не пригодны для спектрометрии гамма-излучения. Кроме того, описанные детекторы не поддерживают передачу результатов измерений удаленному пользователю.

Известно устройство по Пат. 2143711 РФ, которое содержит датчик и блок электронной обработки сигналов. Датчик выполнен в виде трех параллельно-последовательно соединенных сцинтилляторов: внешнего нейтронного сцинтиллятора, выполненного из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородосодержащего вещества на основе пластмассы $(CH)_n$ или стилибена (сцинтиллятор с колодцем), и размещенного в нем (в колодце внешнего сцинтиллятора) сцинтилляционного кристалла NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительного к гамма-излучению, и внутреннего сцинтиллятора на основе 6Li -силикатного стекла, активированного церием, чувствительного к тепловым нейтронам, и фотоэлектронного умножителя, помещенных в единый корпус, а блок электронной обработки сигналов включает схему внутренней временной селекции сцинтимпульсов от нейтроно-чувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl. Однако известное устройство имеет в своем составе фотоэлектронный умножитель, отличающийся большими габаритами, что не позволяет сделать устройство компактным. Кроме того, известный детектор не поддерживает передачу результатов измерений удаленному пользователю.

Известен детектор нейтронного и гамма-излучения по патенту РФ №2231809 от 27.06.2004 МПК G01T 3/08, 1/24, заявл. 01.07/2002; опубл. 27.06.2004. Бюл.№18. Известный детектор содержит датчики для регистрации быстрых промежуточных и тепловых нейтронов. Сенсорными элементами датчиков служат PIN-сенсоры, размещенные в чехлах из борсодержащего радиатора – преобразователя нейтронов из карбида или нитрида бора. Два датчика предназначены для регистрации быстрых и промежуточных нейтронов и содержат замедлители в виде слоев водородосодержащего материала. Третий датчик предназначен для регистрации тепловых нейтронов, поэтому он не имеет замедлителя. Устройство содержит блок электронной обработки сигналов, который состоит из спектрометрического анализатора для выделения гамма-импульсов ($n, \alpha\gamma$)-реакции и для спектрометрии регистрируемого гамма-излучения. Однако регистрация гамма-

излучения в известном детекторе осуществляется непосредственно с помощью полупроводниковых PIN-сенсоров, что не обеспечивает регистрацию гамма-излучения высоких (10 МэВ и выше) энергий, что в частности, востребовано при регистрации гамма-излучения изотопа ^{15}N (10,8 МэВ), используемого для обнаружения ВВ при их зондировании тепловыми нейтронами. Кроме того, известный детектор не поддерживает передачу результатов измерений удаленному пользователю.

Наиболее близким к заявляемому является детектор для регистрации ионизирующих излучений (Пат. 2088952 РФ). Он содержит датчик и блок электронной обработки сигналов; датчик выполнен в виде последовательно соединенных сцинтилляционного кристалла $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительного к протонному, рентгеновскому, а также альфа-, бета-, гамма-излучениям, и световода, выполненного из органического сцинтиллирующего вещества на основе стиблена или пластмассы (СН)_а, чувствительного к быстрым нейтронам, фотоэлектронного умножителя преобразующего световые вспышки (сцинтилляции) в электрические сигналы, а блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него от альфа-, бета-, гамма-сцинтиллятора $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и от световода, сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов. Однако известный детектор содержит фотоэлектронный умножитель, отличающийся большими габаритами, что не позволяет сделать устройство компактным. Кроме того, известный детектор не поддерживает передачу результатов измерений удаленному пользователю.

Задачей полезной модели является разработка конструкции компактного сцинтилляционного детектора нейтронного и гамма-излучений, обеспечивающего дистанционную эффективную регистрацию быстрых и тепловых нейтронов в счетном режиме и гамма-излучения в спектрометрическом и счетном режимах, а также передачу результатов измерений (радиационного контроля) удаленному пользователю.

Задача полезной модели решается за счет того, что предлагаемый детектор для регистрации ионизирующих излучений содержит сцинтилляционный датчик в виде спектрометрического кристалла CsI:Tl или $\text{LaBr}_3\text{:Ce}$, чувствительный к гамма-излучению, находящееся с ним в оптическом контакте фотоприемное устройство в виде PIN-фотодиода, дополнительный сцинтилляционный датчик, чувствительный к нейтронам, и находящийся с ним в оптическом контакте сместитель спектра из кристалла ортогерманата висмута и дополнительный PIN-фотодиод, блок электронной обработки сигналов и связанный с ним коммуникационный модуль.

Суть полезной модели проиллюстрирована на фиг. 1.

Предлагаемая полезная модель содержит в едином блоке-корпусе 1 спектрометрический сцинтилляционный датчик 2 на основе кристалла CsI:Tl или $\text{LaBr}_3\text{:Ce}$, чувствительный к гамма-излучению, и сцинтилляционный датчик 3, чувствительный к быстрым и тепловым нейтронам и гамма-излучению. Сцинтилляционный датчик 3 выполнен в виде сборки из трех пластин. Центральная пластина 4 выполнена из кристалла L(Y,Gd)BO:Ce или ^6Li -содержащего силикатного стекла, две пластины 5, окружающие центральную 4, выполнены из пластика или стиблена. В качестве фотоприемного устройства для датчика 2 используются PIN-фотодиод 6. В качестве фотоприемного устройства для датчика 3 используются PIN-фотодиод 7 с установленным перед его входным окном сместителем спектра 8, выполненного из кристалла ортогерманата висмута BGO. PIN-фотодиоды 6 и 7 и сместитель спектра 8 также как и датчики 2 и 3 расположены в корпусе 1. PIN-фотодиоды 6 и 7 электрически связаны с блоком электронной обработки сигналов 9. Результаты измерений, полученные блоком обработки сигналов 9, передаются на коммуникационный модуль 10.

Предлагаемое устройство работает следующим образом.

Регистрируемое гамма-излучение попадает в спектрометрический датчик 2 и вызывает в нем сцинтилляционные вспышки за счет возбуждения и релаксации Тl-центров

свечения, если в качестве датчика используется кристалл CsI:TI (энергетическое разрешение 8–10%), или за счет возбуждения и релаксации Ce-центров свечения, если в качестве датчика используется кристалл LaBr₃:Ce (энергетическое разрешение 2–3%). Сцинтилляционные вспышки регистрируются с помощью PIN-фотодиода 6, сигналы с которого передаются на блок электронной обработки сигналов 9.

Нейтроны регистрируются с помощью датчика 3. Быстрые нейтроны попадают на пластины 5 из пластика или стиблена датчика 3 и вызывают сцинтилляционные вспышки в них за счет протонов отдачи. Быстрые нейтроны при этом замедляются до тепловых энергий и эффективно регистрируются центральной пластиной 4 датчика 3, выполненной из бората лития-гадолиния, активированного церием, или ⁶Li-содержащего силикатного стекла. Регистрация в материале пластины 4 датчика 3 осуществляется за счет протекания ядерных реакций (n, α) на ядрах ⁶Li (сечение 940 барн), реакции (n, α) на ядрах ¹⁰B (сечение 3837 барн) или реакций (n, γ +электроны конверсии) на ядрах ¹⁵⁷Gd (254 000 барн) или ¹⁵⁵Gd (сечение 60 900 барн). Тепловые нейтроны, имеющиеся в первичном спектре нейтронного излучения, также регистрируются пластиной 4 датчика 3 за счет указанных выше ядерных реакций. Сцинтилляционные вспышки синего цвета, связанные с регистрацией нейтронов в пластинах 4 и 5 датчика 3 попадают на сместитель спектра 8, выполненный из ортогерманата висмута, обеспечивающий смещение спектра свечения из синего в зеленый диапазон и далее – на PIN-фотодиод 7. Смещение синего спектра в область зеленого цвета повышает эффективность регистрации сцинтилляционных вспышек с помощью PIN-фотодиода, имеющего более высокую чувствительность в диапазоне больших длин волн. Сместитель спектра 8 играет одновременно роль регистратора гамма-излучения, что в совокупности с работой датчика 2 повышает эффективность регистрации гамма-излучения предлагаемым устройством в целом. Сигналы с PIN-фотодиода 7 передаются на блок 9 электронной обработки сигналов.

Результаты измерения, выполненные блоком электронной обработки сигналов (на базе микроконтроллера) 9, передаются на коммуникационный модуль 10, обеспечивающий передачу результатов измерений удаленному пользователю посредством беспроводных технологий связи (YKB, GSM, GPRS, Bluetooth, Wi-Fi и пр) или посредством записи информации на съемные носители (Flash-накопители, карты памяти и пр).

Главным преимуществом предлагаемой модели детектора является его малые габариты и вес, например, сцинтилляционный детектор на основе CsI:TI имеет малые габариты 10×10×30 мм³ и малый вес 17,6 г, а детектор нейтронов на основе ⁶Li-содержащего силикатного стекла в виде набора тонких пластин (толщина 400 мкм, длина 30 мм) может иметь вес 13,2 г. До 20 – 30 г имеет вес детектор нейтронов на основе кристалла или кристалловолокон L(Y,Gd)BO:Ce. Вес PIN-фотодиодов, зарядочувствительных усилителей, АЦП и других электронных компонентов и схем, входящих в блок электронной обработки сигналов, не превышает нескольких грамм. Такие детекторы особо пригодны для малогабаритных и супермалогабаритных беспилотных летательных аппаратов.

Дополнительным преимуществом предлагаемого технического решения является возможность спектрометрии гамма-излучения высоких (10 МэВ и выше) энергий, что в частности, востребовано при регистрации гамма-излучения изотопа ¹⁵N (10,8 МэВ), используемого для обнаружения ВВ при их зондировании тепловыми нейтронами.

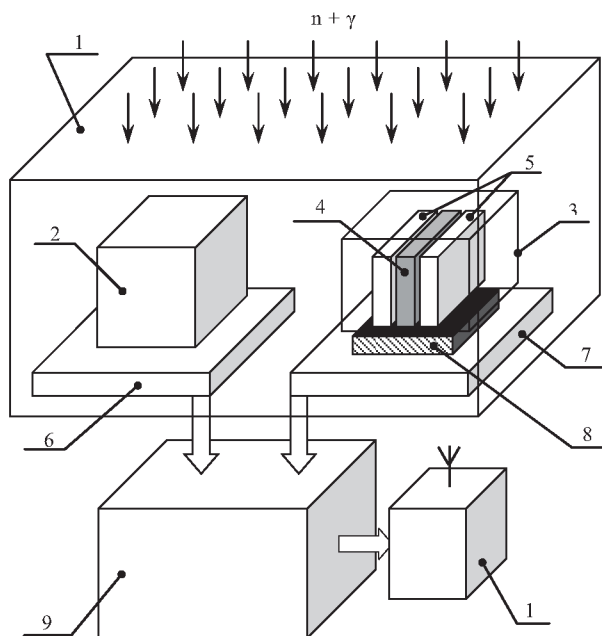
Еще одно преимущество предлагаемого детектора для регистрации ионизирующих излучений связано с возможностью создания расширенной связанной сети радиационных детекторов, благодаря:

- возможности применения нескольких блоков-корпусов 1 при едином блоке электронной обработке сигналов 9;
- наличию коммуникационного модуля 10, способного обеспечить связь нескольких детекторов между собой.

Формула полезной модели

1. Детектор для регистрации ионизирующих излучений, содержащий сцинтилляционный датчик для регистрации излучений, находящееся с ним в оптическом контакте фотоприемное устройство и блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что детектор содержит дополнительный сцинтилляционный датчик, чувствительный к нейтронам, и находящийся с ним в оптическом контакте сместитель спектра из кристалла ортогерманата висмута и дополнительный PIN-фотодиод, дополнительно содержит связанный с блоком электронной обработки сигналов коммуникационный модуль, причем в качестве сцинтилляционного датчика используют сцинтилляционный спектрометрический кристалл CsI:Tl или $\text{LaBr}_3\text{:Ce}$, чувствительный к гамма-излучению, в качестве фотоприемного устройства используют PIN-фотодиод.

2. Детектор для регистрации ионизирующих излучений по п. 1, отличающийся тем, что дополнительный сцинтилляционный датчик, чувствительный к нейтронам, выполнен в виде сборки из трех пластин, причем центральная пластина выполнена из кристалла L(Y,Gd)VO:Ce или ^6Li -содержащего силикатного стекла, две пластины, окружающие центральную, выполнены из пластика или стирбена.



Фиг. 1

Заявка 96107590/25 РФ. Детектор быстрых нейтронов и гамма-лучей / Б. В. Шульгин, Д. Б. Шульгин, Л. В. Викторов, С. И. Горкунова, А. Л. Крымов, А. В. Кружалов, В. Л. Петров. Заявл. 18.04.1996, опубл. 27.07.1998.

Реферат

Заявляемое устройство относится к детекторам ядерных излучений, а именно к детекторам нейтронов спектра деления и детекторам гамма-лучей и может быть использовано для обнаружения и идентификации делящихся материалов (ДМ) в системах технического контроля, в системах развернутого оперативного мониторинга внутригородских перевозок радиоактивных делящихся материалов, в системах таможенного радиационного контроля автотранспорта на пограничных переходах государств, в системах радиационного мониторинга загрязненных территорий, мониторинга фоновой нейтронной и гамма-излучений, а также в системах контроля ввозимого металлолома на металлургических заводах.

Известные детекторы ядерных излучений содержат, как правило, датчик и блок электронной обработки сигналов [1–7]. Например, селективный детектор нейтронов по патенту [2] содержит два датчика, один из которых чувствителен к заряженным частицам и нейтронам, в то время как другой чувствителен только к заряженным частицам; число регистрируемых нейтронов определяется разностным сигналом с этих датчиков, выделяемым помощью разностной схемы электронного блока. Однако возможность применимости такого детектора для регистрации незаряженных частиц, в частности, гамма-излучения в патенте [2] не оговорена и, кроме того, для датчика, чувствительного одновременно к заряженным частицам и нейтронам, эффективность регистрации нейтронов не может быть высокой.

Известный детектор [3] нескольких излучений включает два сцинтилляционных датчика с зеленым и красным свечением, один из которых чувствителен к высокоэнергетическому излучению, а другой – к низкоэнергетическому, и электронно-оптический блок регистрации, выделяющий сигналы от разных датчиков с помощью светофильтров (зеленого и красного) и регистрирующий их с помощью фотодиодов. Такой детектор имеет ограниченные области применения, по данным [3] он пригоден для регистрации рентгеновского излучения с двумя различными энергиями.

Известен всеволновой детектор нейтронов [4] состоящий из He-3 (гелий-3) счетчика, чувствительного к тепловым нейтронам, и замедлителя (парафин) над тепловыми нейтронами. Однако такой детектор не пригоден для одновременной регистрации нейтронного и гамма-излучения.

Известен детектор [5], представляющий собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации гамма-излучения и быстрых нейтронов. Детектор имеет следующие характеристики: длительность сцинтимпульса, создаваемого нейтроном или гамма-квантом – 8,5 нс; световой выход УЕСВ (по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ – 0,29; максимум спектра люминесценции 490 нм, диаметр и высота до 50 мм. Однако такой детектор имеет на порядок более низкую в сравнении с He-3 счетчиками, эффективность регистрации нейтронов.

Известен детектор надтепловых нейтронов [6], который содержит счетчик тепловых нейтронов, защиту от тепловых нейтронов, окружающую этот счетчик; замедлитель надтепловых нейтронов, помещенный между счетчиком и его защитой для замедления надтепловых нейтронов, которые проникают через защиту, с тем, чтобы эти нейтроны легче поглощались счетчиком. Толщина замедлителя и отношение диаметра счетчика к

внешнему диаметру замедлителя таковы, что максимальная скорость счета нейтронов больше, чем наивысшая скорость счета, которую можно получить, когда счетчик полностью заполняет внутренний диаметр защиты от тепловых нейтронов. Однако известный детектор [6] не позволяет регистрировать гамма-излучение.

Наиболее близким к заявляемому является прибор (детектор) для измерения нейтронов и гамма-лучей [7]. Этот прибор содержит датчик, в частности, сцинтилляционный однокристалльный датчик, чувствительный одновременно к нейтронам и гамма-лучам и электронную схему селекции для разделения сигналов (импульсов), генерируемых нейтронами и гамма-лучами. Однако любой однокристалльный датчик не является оптимальным для одновременной регистрации нейтронов и гамма-лучей, поскольку он имеет на порядок более низкую эффективность регистрации нейтронов, нежели таковая для He-3 счетчиков.

Предлагаемым изобретением решается задача повышения эффективности одновременной регистрации быстрых нейтронов и гамма-излучения. Заявляемое устройство, фиг. 1, предлагаемое для решения вышеназванной задачи, содержит датчик быстрых нейтронов и датчик гамма-лучей. Основной датчик нейтронов состоит из набора (от 2 до 20 и более) ионизационных He-3 счетчиков (1) для регистрации нейтронов, замедленных замедлителем до тепловых энергий, для чего он помещается в замедлитель (2) из водородсодержащего материала (полиэтилена). При большом наборе нейтронных ионизационных He-3 счетчиков они могут располагаться как воднослойной, так и двуслойной конфигурации. Датчик гамма-излучения включает в себя набор от 2 до 6 и более сцинтиллирующих вставок из водородсодержащей пластмассы (3) химическая формула $(CH)_n$, на концах сцинтиллирующих вставок размещены фотоприемники (4). В качестве фотоприемников могут быть использованы фотоэлектронные умножители, фотодиоды или микроканальные пластины.

Сущность изобретения заключается в том, что сцинтиллирующие вставки из водородсодержащей пластмассы, являющиеся чувствительным элементом к гамма-излучению, одновременно играют роль замедлителя (или его части) быстрых нейтронов до тепловых энергий, которые затем эффективно ($> 90\%$) регистрируются с помощью набора ионизационных He-3 счетчиков. Основная роль сцинтиллирующих вставок заключается в регистрации гамма-излучения, однако будучи изготовленными из водородсодержащей пластмассы, они играют роль дополнительного датчика быстрых нейтронов. Сцинтиллирующие пластмассовые вставки изготовлены в виде покрытых светоотражающей пленкой параллелепипедов, либо в виде цилиндров, либо в виде пучка сцинтиллирующих волокон.

Заявляемое устройство работает в смешанных полях нейтронного и гамма-излучения следующим образом. Быстрые нейтроны попадают в детектор, и частично (3–5%) регистрируются пластмассовыми сцинтилляционными элементами, затем они замедляются полиэтиленом до тепловых энергий и эффективно ($> 80\%$) регистрируются ионизационными He-3 счетчиками (основными нейтронными датчиками). (Непосредственно быстрые нейтроны ионизационными He-3 счетчиками не регистрируются). Гамма-лучи попадают в сцинтиллирующие пластмассовые вставки, вызывают в них световые вспышки, которые регистрируются фотоприемниками, расположенными по торцам пластмассовых сцинтиллирующих вставок. Пластмассовые сцинтиллирующие вставки, будучи изготовленными из водородсодержащего материала, не ухудшают параметров замедлителя, частью которого они являются: они переводят быстрые нейтроны в разряд тепловых, последние эффективно регистрируются ионизационными He-3 счетчиками.

Предлагаемое устройство имеет ряд преимуществ.

1. Устройство обладает повышенной эффективностью регистрации быстрых нейтронов поскольку они регистрируются не только с помощью He-3 счетчиков (опосредованным способом, предварительно замедлив быстрые нейтроны до тепловых энер-

гий), но также с помощью пластмассовыхсцинтиллирующих вставок в замедлитель, последние содержат водород, имеющий повышенное сечение взаимодействия с быстрыми нейтронами, а акт такого взаимодействия в сцинтиллирующем материале приводит к появлению протона отдачи, который вызывает световую вспышку, т. е. гамма-датчик является одновременно сцинтилляционным нейтронным датчи-ком.

2. Устройство обеспечивает повышенную загрузочную способность (до 10^8 сек⁻¹) датчика гамма-излучения благодаря использованию быстрогоорганического пластмассового сцинтиллятора с длительностью сцинтиим-пульса $< 3 - 10$ не.

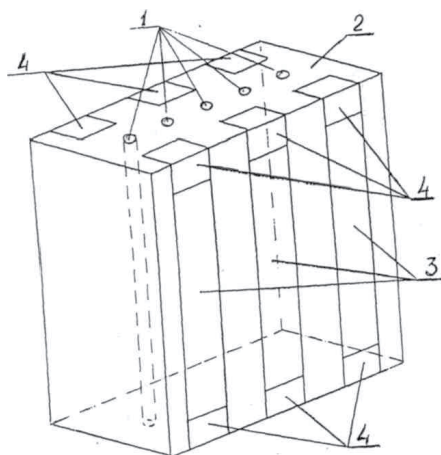
3. Устройство является всеволновым детектором нейтронов, причемрегистрация быстрых нейтронов дублируется как ионизационными He-3 счетчиками, так и сцинтилляционными датчиками, что повышает эффективность регистрации быстрых нейтронов.

Количество ионизационных He-3 счетчиков (от 2 до 20 и более) в наборе, конфигурация набора (одно- и двуслойная), а также количествосцинтилляционных зставок (от 2 до 6 и более) определяются требованиями обеспечения необходимой эффективности регистрации нейтронного и гамма-излучения или требованиями минимальной регистрируемой активности источников нейтронного и гамма-излучения с учетом расстояниядо них и времени регистрации.

Формула изобретения

1. Детектор быстрых нейтронов и гамма-лучей, содержащийдатчик быстрых нейтронов и гамма-лучей, отличающийся тем, чтодатчик выполнен в виде набора ионизационных гелий-3 счетчиков для регистрации нейтронов, размещенных в замедлителе из водородсодержащего материала, и набора размещенных в замедлитее вставок из сцинтиллирующей водородсодержащей пластмассы, на концах которых размещены фотоприемники для регистрации гамма-излучения.

2. Детектор по п.1, отличающийся тем, что вставки из сцинтиллирующей водородсодержащей пластмассы выполнены в виде параллелепипедов или цилиндров, или пучков сцинтиллирующих волокон, покрытых светоотражающей пленкой.



Фиг. 1

Литература

1. Акимов Ю.К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий. Изд. МГУ, Москва, 1963.
2. Селективный детектор нейтронов. Патент США N 3688118 GOI T1/00, 3/06, 1972.
3. Детектор нескольких излучений, заявка ЕПВ (EP) N 0311503, GOI T1/00, 1/20, 1989.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. М. Энергоатомиздат, 1988, 399 с.
5. Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского физико-технического института, 1990.
6. Детектор надтепловых нейтронов. Патент США N 4241253, GOIT, 3/00, 1980.
7. Прибор для измерения нейтронов и гамма-лучей. Патент США N 4482808, GOIT 3/06, 1984.

Патент № 2411280 РФ. Способ получения двуслойного волоконного сцинтиллятора / Л. В. Жукова, Б. В. Шульгин, А. С. Корсаков, В. В. Жуков. Заявл. 08.04.2008, опубл. 10.02.2011. Бюл. № 4.

Формула изобретения

Способ получения двуслойного волоконного сцинтиллятора, включающего разогрев материала сердцевины и оболочки с последующим формированием двуслойной структуры волокна, отличающийся тем, что разогрев материала сердцевины и оболочки сцинтиллятора осуществляют при температуре 180 – 190°C, давлении 150 – 180 кг/см², а формирование структуры волокна методом экструзии ведут со скоростью 1,0 – 1,5 м/ч, причем материал сердцевины сцинтиллятора содержит ингредиентов, мас. %:

хлорид серебра	5,0 – 10,0
бромид серебра	87,5 – 85,0
иодид серебра	0,5 – 1,0
иодид одновалентного таллия	7,0 – 4,0

а материал оболочки сцинтиллятора содержит ингредиентов, мас. %:

хлорид серебра	18,0 – 20,0
бромид серебра	80,5 – 79,4
иодид серебра	0,1-0,5
иодид одновалентного таллия	0,5 – 1,0

Заявка 2009112116 РФ. Способ анализа спектров люминесценции / А. С. Таланов, С. В. Кортон, А. Н. Черепанов, В. В. Пиличев, А. В. Ищенко, А. В. Семенова. Заявл. 02.04.2009; опубл. 10.10.2010. Бюл. № 28.

Реферат

Использование: для автоматизированного анализа результатов люминесцентных измерений. Сущность изобретения: способ анализа люминесцентных спектров заключается в разложении спектров люминесценции на гауссианы, путем подбора таких параметров гауссианов, при которых выражение

$$\sum_{i=1}^n \ln \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi} \epsilon_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}})/K + \sigma_{\text{шума}}^2} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A_i^{\text{расч}} - A_i^{\text{эксп}}}{\sqrt{A_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}})/K + \sigma_{\text{шума}}^2}} \right)^2 \right] \eta(A_i^{\text{расч}}) \right] \bigg/ \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \epsilon_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}})/K + \sigma_{\text{шума}}^2} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A - A_i^{\text{эксп}}}{\sqrt{A_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}})/K + \sigma_{\text{шума}}^2}} \right)^2 \right] dA \right],$$

где $A_i^{\text{эксп}}$ – значение амплитуды i -й экспериментальной точки в спектре люминесценции; $A_i^{\text{расч}}$ – значение расчетной амплитуды спектра люминесценции в точке, с той же энергией или длиной волны, что и у i -й экспериментальной точки; K – коэффициент пропорциональности между амплитудой сигнала и количеством зарегистрированных фотонов; η – функция Хэвисайда; $\sigma_{\text{шума}}$ – стандартное отклонение погрешности измерения амплитуды сигнала, связанное шумами аппаратуры, принимает максимально возможное значение. Технический результат: повышение надежности и точности автоматизированного анализа спектров люминесценции.

Описание изобретения

Заявляемое изобретение относится к способам автоматизированного анализа результатов экспериментальных измерений, в частности, к способам автоматизированного анализа результатов люминесцентных измерений, таких как спектры оптической люминесценции, спектры радиолюминесценции (в том числе импульсной катодолюминесценции, рентгенолюминесценции и ионोलюминесценции), разного рода поляризованные спектры люминесценции, спектры и кривые термостимулированной люминесценции, спектры оптического поглощения, спектры оптического отражения, с использованием методов математического моделирования.

Одним из направлений автоматизированного анализа результатов экспериментальных измерений вообще и люминесцентных спектров, в частности, является математическое моделирование, в рамках которого используются те или иные модели измерительных процессов, характеризующиеся определенным набором параметров. Задача процедуры моделирования сводится к такому подбору параметров модели, при котором будет наблюдаться наилучшее с точки зрения заданного критерия совпадение результатов расчета и результатов эксперимента. Таким образом, ключевым моментом всех способов анализа результатов экспериментальных измерений является тот или иной критерий соответствия расчета эксперименту, от надежности и корректности которого будет зависеть точность и обоснованность результатов анализа с использованием методов математического моделирования.

Известен способ анализа спектров люминесценции, заключающийся в субъективном определении человеком компонентов сложного спектра люминесценции путем приблизительной оценки позиции колокообразных составляющих. Это способ используется

во множестве научных и практических работ, например, в работе: Люминесценция объемных, волоконных и наноразмерных кристаллов LiF и NaF / А. Н. Черепанов, В. Ю. Иванов, Т. С. Королева, Б. В. Шульгин. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. 304 с. Среди несомненных плюсов этого способа – предельная простота. Однако, за счет того, что определение компонент происходит «на глаз», без четких моделей люминесцентного процесса и явных критериев соответствия, данный способ не имеет определенной точности, ненадежен, субъективен, т. е. является оценочным, и не может потому рассматриваться, как способ точного анализа люминесцентных спектров. Кроме того, известный метод требует постоянного участия человека и не относится к автоматизированным способам анализа.

Наиболее близким к заявляемому является способ анализа спектров люминесценции, основанный на разложении спектров люминесценции на гауссианы, путем подбора таких параметров гауссианов, при которых сумма квадратов разностей расчетных и экспериментальных значений по всем экспериментальным точкам имеет минимальное значение. Это способ используется во множестве научных и практических работ, например, в работе: Luminescence spectroscopy of NaF:U bulk and fiber crystals / B. V. Shulgin, A. N. Tcherepanov, V. Yu. Ivanov, T. S. Koroleva, M. M. Kidibaev, Ch. Pedrini, Ch. Dujardin // Journal of Luminescence. 2007. Vol. 125, Iss. 1–2. P. 259–265. Минимизация суммы квадратов разностей расчетных и экспериментальных значений широко применяется в математике при сопоставлении различных кривых, и основными достоинствами такого подхода являются простота и независимость от природы сопоставляемых зависимостей. Последнее, однако, является и недостатком известного способа. В ряде случаев одинаковое по абсолютным значениям расстояние между кривыми не означает одинаковую близость физических процессов, описываемых этими кривыми. Подобный эффект имеет место, в частности, при измерении величин, принимающих целочисленные значения или значения пропорциональные таковым. Действительно, если измеренная целочисленная величина имеет значение N , то погрешность ее равна \sqrt{N} . Поэтому, если на экспериментальной кривой одновременно встречаются целочисленные значения, заметно отличающиеся по величине, то и близость моделированной кривой к этим экспериментальным значениям должна быть различной: к экспериментальным точкам с малыми значениями N моделированная кривая должна быть существенно ближе, чем к экспериментальным точкам с большими значениями N . В известном способе анализа (сумма квадратов разностей расчетных и экспериментальных значений) предполагается, что моделированная кривая проходит в одинаковой близости, как от больших, так и от малых значений N , т. е. известный способ безразличен к значению N : он не учитывает погрешность определения целочисленных величин или величин пропорциональных таковым. При измерении спектров люминесценции каждая экспериментальная точка, будучи пропорциональной целочисленному количеству зарегистрированных фотонов, имеет свою, как правило, отличную от других точек спектра, погрешность. По этой причине известный способ анализа люминесцентных спектров является неоптимальным для анализа спектров люминесценции, поскольку не учитывает индивидуальную погрешность каждой экспериментальной точки.

Задача предлагаемого изобретения заключается в разработке такого способа анализа спектров люминесценции, в котором корректно учитывается погрешность измерения каждой точки спектра. Задача решается за счет подбора необходимого критерия соответствия результатов расчета и эксперимента.

Суть предлагаемого способа анализа люминесцентных спектров заключается в разложении спектров люминесценции на гауссианы, путем подбора таких параметров гауссианов, при которых выражение

$$\sum_{i=1}^n \ln \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi} \mathfrak{C}_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}})/K + \sigma_{\text{шума}}^2} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A_i^{\text{рвсч}} - A_i^{\text{эксп}}}{\sqrt{A_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}})/K + \sigma_{\text{шума}}^2}} \right)^2 \right] \eta(A_i^{\text{рвсч}}) \right] \frac{\int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi} \mathfrak{C}_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}})/K + \sigma_{\text{шума}}^2} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A - A_i^{\text{эксп}}}{\sqrt{A_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}})/K + \sigma_{\text{шума}}^2}} \right)^2 \right] dA}{1}$$

где $A_i^{\text{эксп}}$ – значение амплитуды i -й экспериментальной точки в спектре люминесценции; $A_i^{\text{рвсч}}$ – значение расчетной амплитуды спектра люминесценции в точке, с той же энергией или длиной волны, что и у i -й экспериментальной точки; K – коэффициент пропорциональности между амплитудой сигнала и количеством зарегистрированных фотонов; η – функция Хэвисайда; $\sigma_{\text{шума}}$ – стандартное отклонение погрешности измерения амплитуды сигнала, связанное шумами аппаратуры, принимает максимально возможное значение.

Предлагаемый способ анализа люминесцентных спектров основан на следующем. С методической точки зрения измерение спектров люминесценции заключается в определении количества фотонов, испускаемых исследуемым образцом. Амплитуда сигнала $A^{\text{эксп}}(W)$ на выходе измерительной аппаратуры считается пропорциональной количеству зарегистрированных фотонов:

$$A^{\text{эксп}}(W) = K \cdot N(W), \quad (1)$$

где $N(W)$ – количество зарегистрированных фотонов; K – коэффициент пропорциональности между амплитудой сигнала и количеством зарегистрированных фотонов (зависит от особенностей построения измерительного тракта, его коэффициента усиления, включает в себя так же эффективность регистрации фотонов с помощью ФЭУ).

Поскольку амплитуда сигнала $A^{\text{эксп}}(W)$ на выходе измерительной аппаратуры пропорциональна целочисленной величине $N(W)$, то погрешность измерения $A^{\text{эксп}}(W)$ должна быть пропорциональна $\sqrt{N(W)}$. Распределение во времени сигналов, соответствующих регистрируемому фотонам на выходе измерительного тракта, подчиняется распределению Пуассона, которое при количестве отсчетов $N > 30$ переходит в нормальное распределение. Очевидно, что стандартное отклонение такого распределения имеет значение $\sigma_{\text{счета}}(W) = \sqrt{N(W)} = \sqrt{A^{\text{эксп}}(W)/K}$.

В связи с тем, что в экспериментах по измерению спектров люминесценции количество регистрируемых фотонов в единицу времени, как правило, заметно превосходит 30, погрешность измерения амплитуды сигнала может быть описана в первом приближении следующим нормированным нормальным распределением:

$$p(A; A^{\text{эксп}}) = \frac{1}{\sigma_{\text{счета}} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A - A^{\text{эксп}}}{\sigma_{\text{счета}}} \right)^2 \right]. \quad (2)$$

На самом деле, погрешность определения амплитуды сигнала зависит не только от амплитуды самого сигнала, но и от шумовых характеристик измерительного тракта. Если считать, что амплитудное распределение шума носит характер нормального распределения со стандартным отклонением $\sigma_{\text{шума}}$, то суммарное стандартное отклонение равно:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{счета}}^2 + \sigma_{\text{шума}}^2}. \quad (3)$$

Шумы аппаратуры, будучи распределенными вокруг нуля, могут формировать как положительные, так и отрицательные (не имеющие физического смысла при пересчете в число фотонов) сигналы. По этой причине, если экспериментальная точка имеет отрицательную амплитуду, то погрешность амплитуды такой точки определяется только шумовой составляющей, т. е. число фотонов, сформировавших такой отсчет равно нулю ($N = 0$). Математически данное предположение может быть записано с использованием функции Хэвисайда $\eta(x)$, которая равна нулю при $x < 0$ и равна единице при $x \geq 0$:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{счета}}^2 \eta(A^{\text{эксп}}) + \sigma_{\text{шума}}^2} = \sqrt{A^{\text{эксп}} \eta(A^{\text{эксп}}) / K + \sigma_{\text{шума}}^2}. \quad (4)$$

Тогда вероятность соответствия некоторого значения амплитуды A значению амплитуды $A^{\text{эксп}}$ может быть представлена формулой:

$$p(A; A^{\text{эксп}}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A - A^{\text{эксп}}}{\sigma} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Однако, если величина A это расчетное (моделированное) значение $A^{\text{расч}}$, она не может быть отрицательной по физическому смыслу. По этой причине в выражение (5) необходимо ввести дополнительный множитель в виде функции Хэвисайда, который будет приравнивать к нулю вероятность соответствия значения амплитуды $A^{\text{расч}}$ значению $A^{\text{эксп}}$ в случае отрицательных значений величины $A^{\text{расч}}$. Введение дополнительного множителя приводит к необходимости перенормировки функции $p(A^{\text{расч}}; A^{\text{эксп}})$, поскольку он отсекает значения с $A < 0$:

$$p(A^{\text{расч}}; A^{\text{эксп}}) = \frac{\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A^{\text{расч}} - A^{\text{эксп}}}{\sigma} \right)^2 \right] \eta(A^{\text{расч}})}{\int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A^{\text{расч}} - A^{\text{эксп}}}{\sigma} \right)^2 \right] dA^{\text{расч}}}. \quad (6)$$

Поскольку экспериментальный спектр представляет из себя набор пар значений $(W_i; A_i^{\text{эксп}})$, то для его сравнения с моделированным спектром, последний должен быть представлен в виде аналогичного набора данных, т. е. в виде пар значений $(W_i; A_i^{\text{расч}})$. Значение $A_i^{\text{расч}}$ получается из выражения (2) путем подстановки соответствующего значения энергии: $A_i^{\text{расч}} = A^{\text{расч}}(W_i)$. Таким образом, формируются ряды данных $(W_i; A_i^{\text{эксп}}; A^{\text{расч}}(W_i))$, которые и подлежат сравнению между собой.

Соответствие моделированной и экспериментальной кривых определяется как одновременное соответствие расчета и эксперимента в каждой точке W_i (в точке W_1 , и в точке W_2 , и в точке W_3 , и так далее до точки W_n), т. е. как произведение вероятностей соответствия $p(A_i^{\text{расч}})$ в каждой отдельной точке:

$$P = \prod_{i=1}^n p(A_i^{\text{расч}}; A_i^{\text{эксп}}) = \prod_{i=1}^n p(A^{\text{расч}}(W_i); A_i^{\text{эксп}}), \quad (7)$$

где n – количество экспериментальных точек. Чем больше соответствие между моделированной и экспериментальной кривыми, тем большее значение приобретает показатель P . Однако, применение для вычисления показателя P формулы типа (7), т. е.

формулы, содержащей произведение n членов, не удобно на практике. По этой причине произведение n членов заменяется на сумму следующим образом:

$$P = \prod_{i=1}^n p(A_i^{\text{расч}} | A_i^{\text{эксп}}) = \exp \left\{ \sum_{i=1}^n \ln p(A_i^{\text{расч}} | A_i^{\text{эксп}}) \right\}, \quad (8)$$

а требование $P \rightarrow \max$, рассматривается как требование

$$\sum_{i=1}^n \ln p(A_i^{\text{расч}} | A_i^{\text{эксп}}) \rightarrow \max. \quad (9)$$

Таким образом, суть предлагаемого способа анализа сводится к подбору таких параметров моделируемого спектра, при которых выполняется выражение (9). Подбор выполняется стандартными методами многопараметрической оптимизации, например, методом Ньютона.

Дополнительным преимуществом предлагаемого способа анализа люминесцентных спектров является возможность его применения для ряда других видов измерений, заключающихся в регистрации целочисленных величин или величин, пропорциональных таковым, например, при анализе кинетик затухания люминесценции.

Формула изобретения

Способ анализа спектров люминесценции, основанный на разложении спектров люминесценции на гауссианы, путем подбора таких параметров гауссианов, при которых сумма квадратов разностей расчетных и экспериментальных значений по всем экспериментальным точкам имеет минимальное значение, отличающийся тем, что подбор параметров гауссианов ведется таким образом, что выражение

$$\sum_{i=1}^n \ln \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi} \eta(A_i^{\text{эксп}}) / K + \sigma_{\text{шум}}^2} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A_i^{\text{расч}} - A_i^{\text{эксп}}}{\sqrt{A_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}}) / K + \sigma_{\text{шум}}^2}} \right)^2 \right] \eta(A_i^{\text{расч}}) \right] \Bigg/ \left[\int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \eta(A_i^{\text{эксп}}) / K + \sigma_{\text{шум}}^2} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{A - A_i^{\text{эксп}}}{\sqrt{A_i^{\text{эксп}} \eta(A_i^{\text{эксп}}) / K + \sigma_{\text{шум}}^2}} \right)^2 \right] dA \right]$$

где $A_i^{\text{эксп}}$ – значение амплитуды i -й экспериментальной точки в спектре люминесценции; $A_i^{\text{расч}}$ – значение расчетной амплитуды спектра люминесценции в точке, с той же энергией или длиной волны, что и у i -й экспериментальной точки; K – коэффициент пропорциональности между амплитудой сигнала и количеством зарегистрированных фотонов; η – функция Хэвисайда; $\sigma_{\text{шум}}$ – стандартное отклонение погрешности измерения амплитуды сигнала, связанное шумами аппаратуры, принимает максимально возможное значение.

Заявка 2009113053 РФ. Волоконный детектор / В. В. Бастриков, Н. С. Бастрикова, А. Н. Черепанов, В. В. Пиличев, А. В. Семенова. Заявл. 09.04.2009; опубл. 20.10.2010. Бюл. № 29.

Реферат

Использование: для проведения интроскопического неразрушающего контроля материалов и объектов в медицинской, таможенной, криминалистической практике. Сущность изобретения: волоконный детектор содержит кварцевое волокно для ввода в контролируемый объект УФ возбуждающего света, несколько одномодовых волокон из материалов на основе галогенида серебра, рассчитанных на вывод света люминесценции контролируемого объекта, и столько же узкополосных регистраторов, связанных каждый со своим одномодовым волокном, сцинтилляционное волокно из материала на основе галогенидов серебра, активированных таллием, для контроля потока рентгеновского излучения в режиме реального времени и связанный с ним фоторегистратор; анализатор, обеспечивающий анализ полученной информации от регистраторов, связанных с одномодовыми волокнами и фоторегистратора, связанного со сцинтилляционным волокном. Технический результат: увеличение эффективности неразрушающего контроля

Описание изобретения

Изобретение относится к системам люминесцентно-оптических измерений и может быть использовано для проведения интроскопического неразрушающего контроля материалов и объектов в медицинской, таможенной, криминалистической практике, а также при проведении научно-исследовательских работ медико-биологической и материаловедческой направленности.

Суть люминесцентно-оптических методов неразрушающего контроля сводится к регистрации и анализу люминесцентно-оптических свойств материалов и объектов, проявляющихся под действием внешнего возбуждения, например, под действием УФ-света или рентгеновского излучения. При интроскопическом контроле материалов важной является возможность введения внутрь исследуемого объекта возбуждающего воздействия и вывода из объекта отклика – света люминесценции при минимальных нарушениях самого объекта. УФ-излучение, как правило, не проникает на сколь-нибудь значимую глубину в объекты, что требует организации специальных каналов ввода УФ-излучения для доставки его в требуемую точку внутри контролируемого объекта. Технически эти каналы представляют собой обычно миниатюрные волоконные световоды, выполненные из материалов, прозрачных к УФ-излучению. Рентгеновское излучение, напротив, достаточно хорошо проникает внутрь объектов и не требует организации специальных каналов ввода, тем более, что техническая реализация миниатюрных локальных источников рентгеновского излучения затруднительна. Правда, при внешнем облучении объектов рентгеновским излучением для точных измерений люминесцентных характеристик внутри объекта требуется контроль потока рентгеновского излучения в месте измерения люминесценции. Вывод света люминесценции обычно осуществляется с помощью световодов, выполненных из материалов, прозрачных к свету люминесценции. Выводимое свечение подается на регистратор и анализатор.

Известен волоконный детектор (Акимов Ю. К. Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий / Ю. К. Акимов. М.: МГУ, 1963. 151 с.). В качестве датчика содержит нити из пластикового сцинтиллятора диаметром 1 мм, заполняющие люситовый каркас размером $100 \times 100 \times 100$ мм³. Такой детектор имеет возможность регистрации потока рентгеновского излучения в месте измерения люминесценции и способен выводить поток люминесценции из объекта. Однако, известный детектор имеет ограниченный диапазон прозрачности и требует сложных систем регистрации и анализа

излучения для разделения собственного свечения волокна и свечения контролируемого объекта.

Известны волоконные детекторы на основе кварцевых волокон (Dianov E. M. [et al.]. Electronics letters. 1995. Vol. 31, № 17. P. 1490–1491.) и на основе волокон KU или KS-4V (Dianov E. M. [et al.]. Electronics letters. 1999. Vol. 35, № 2. P. 170–171.). Однако эти детекторы они представляют собой детекторы интегрального абсорбционного типа. Вывод излучения люминесценции объекта возможен в них в режиме реального времени, а контроль дозы облучения проводят, измеряя интенсивность наведенных излучением полос в спектрах поглощения волокон, т. е. такие детекторы не пригодны для контроля потока рентгеновского излучения в режиме реального времени. Кроме того, они имеют малую чувствительность к слабым потокам ионизирующих излучений и требуют сложных систем регистрации и анализа излучения для учета изменения светопроводящих свойств волокон при их облучении ионизирующим излучением.

Известен кристаллический сцинтиллятор ЛИЯ-2 (Пат. 2066464 РФ) для радиационного детектора, отличающийся пластичностью, малым временем высвечивания и высокой прозрачностью в видимом и инфракрасном диапазонах. Основу кристаллов сцинтиллятора ЛИЯ-2 составляют галогениды серебра (AgCl-AgBr). Однако применение этого сцинтиллятора в виде волокон в Пат. 2066464 РФ не описано. И даже если предположить такую возможность, то при работе в качестве волоконного детектора для разделения собственного свечения волокна и свечения контролируемого объекта потребуются сложные системы регистрации и анализа излучения.

Наиболее близким к заявляемому является волоконный детектор (Пушкарев С.В., Наумов С.М., Вовк Е.С. Диагностика рака молочной железы.– Томск.: Водолей, 1999, с. 192) на основе промышленно выпускаемых кварцевых световодов, применяемые в линиях оптической связи. Известный волоконный детектор содержит сборку из двух кварцевых световодов-волокон, по одному из которых в контролируемый объект подается возбуждающее УФ-излучение, а по другому – выводится свет люминесценции, который затем попадает в фоторегистратор и анализатор свечения. Однако, это известное техническое решение имеет ряд недостатков. Во-первых, область прозрачности кварцевых световодов ограничена ближним ИК-диапазоном и может быть недостаточна для вывода ИК-люминесценции биологических объектов. Во-вторых, система из двух кварцевых световодов не способна обеспечить контроль потока рентгеновского излучения в месте измерения люминесценции. В-третьих, по обычному кварцевому световоду выводится полный спектр люминесценции, что требует достаточно широкополосных регистраторов свечения и сложных систем анализа спектров.

Задачей предлагаемого изобретения является решение трех проблем: проблемы увеличения области прозрачности световодов, выводящих свет из контролируемого объекта, проблемы контроля потока рентгеновского излучения в режиме реального времени, проблемы упрощения систем регистрации и анализа выводимого из контролируемого объекта излучения. Задача решается за счет того, что для увеличения области прозрачности световодов, выводящих свет из контролируемого объекта, используются световоды, выполненные из материалов на основе галогенидов серебра, отличающихся большой областью прозрачности в видимом, ближнем и дальнем ИК-диапазоне; для контроля потока рентгеновского излучения в режиме реального времени используется дополнительный световод-сцинтиллятор из материалов на основе галогенидов серебра, активированных таллием, чувствительный к рентгеновскому излучению, свечение с которого выводится на дополнительный фоторегистратор; а упрощение системы регистрации и анализа выводимого из контролируемого объекта излучения достигается за счет применения одномодовых световодов.

Заявляемое устройство содержит в едином непрозрачном корпусе:

- кварцевое волокно для ввода в объект УФ возбуждающего света,

- несколько одномодовых волокон из материалов на основе галогенида серебра, рассчитанных на вывод света люминесценции контролируемого объекта, и столько же узкополосных регистраторов, связанных каждый со своим одномодовым волокном,
- сцинтилляционное волокно из материала на основе галогенидов серебра, активированных таллием, для контроля потока рентгеновского излучения в режиме реального времени и связанный с ним фоторегистратор;
- анализатор, обеспечивающий анализ полученной информации от регистраторов, связанных с одномодовыми волокнами и фоторегистратора, связанного со сцинтилляционным волокном.

Устройство работает следующим образом. При измерении спектров фотолюминесценции возбуждающее воздействие внутри образца передается по кварцевому световоду. Оно попадает на образец, возбуждает в нем люминесценцию, которая выводится по нескольким одномодовым волокнам на регистраторы. Одномодовость волокон позволяет погасить ненужные моды и довести до регистраторов уже отфильтрованное излучение в достаточно узком диапазоне длин волн. Последнее позволяет использовать узкополосные регистраторы. Сцинтилляционный световод при измерении спектров фотолюминесценции не используется. При измерении спектров рентгенолюминесценции возбуждающее воздействие внутри образца передается от внешнего источника рентгеновского излучения путем естественного проникновения. Попадая на контролируемый участок внутри образца, оно возбуждает в нем люминесценцию, которая выводится по нескольким одномодовым волокнам на регистраторы. Одномодовость волокон позволяет погасить ненужные моды и довести до регистраторов уже отфильтрованное излучение в достаточно узком диапазоне длин волн. Последнее позволяет использовать узкополосные регистраторы. Контроль потока рентгеновского излучения в режиме реального времени в месте измерения спектров проводится с помощью сцинтилляционного световода, интенсивность сцинтилляций в котором будет тем больше, чем интенсивней поток рентгеновского излучения в месте измерения. Свечение сцинтилляционного световода регистрируется с помощью фоторегистратора. Кварцевый световод при измерении спектров рентгенолюминесценции не используется.

Во всех режимах анализатор обеспечивает анализ полученной информации от регистраторов, связанных с одномодовыми волокнами и фоторегистратора, связанного со сцинтилляционным волокном.

Формула изобретения

Волоконный детектор для интроскопического неразрушающего контроля объектов, содержащий сборку из двух кварцевых световодов-волокон, по одному из которых контролируемый объект подается возбуждающее люминесценцию УФ-излучение, а по другому выводится свет люминесценции, регистратор, связанный с световодом-волокон, выводящим свет люминесценции, и анализатор свечения, отличающийся тем, что волоконный детектор содержит дополнительно сцинтилляционное волокно из материала на основе галогенидов серебра, активированного таллием, для контроля потока рентгеновского излучения, и связанный с ним фоторегистратор, вместо кварцевого световода-волока, выводящего свет люминесценции, и связанного с ним регистратора используется несколько одномодовых световодов-волокон из материалов на основе галогенида серебра, и столько же узкополосных регистраторов, связанных каждый со своим одномодовым световодом-волокон, а анализатор обеспечивает анализ полученной информации от регистраторов, связанных с одномодовыми волокнами и фоторегистратора, связанного со сцинтилляционным волокном.

Реферат

Регулируемый стабилизатор постоянного напряжения, содержащий стабилизирующий элемент, преобразователь напряжения, подключенный к стабилизирующему элементу, трансформатор, первичная обмотка которого подключена к преобразователю напряжения, третья обмотка трансформатора подсоединена к вспомогательному выпрямителю, выход которого соединен с измерителем сигнала обратной связи, а вторичная обмотка подключена к выпрямительному блоку, делитель напряжения, отличающийся тем, что содержит четвертую обмотку трансформатора, к которой подключен еще один вспомогательный выпрямитель, к которому подсоединен стабилизирующий элемент, причем оба вспомогательных выпрямителя являются нерегулируемыми.

Описание изобретения

Заявленное изобретение относится к области электротехники, в частности к стабилизаторам напряжения, предназначенным для питания электронных приборов, требующих регулирования выходного напряжения.

Известны устройства [1, 2] содержащие трансформатор, с дополнительными обмотками и выпрямители, питающие служебные электрические цепи.

Известно устройство [3] для питания электродов электроннолучевых трубок и других электронных приборов, представленное на рисунке 1. Данное устройство содержит преобразователь напряжения 1 с выходным трансформатором 2, имеющим две вторичные обмотки 3 и 4, вентильно-конденсаторный выпрямитель (выпрямительный блок) 5, делитель напряжения 6, регулируемый импеданс 7, являющимся измерителем сигнала обратной связи и выполненный по структуре «регулируемый транзистор – блок сравнения – опорный элемент», вспомогательный выпрямитель 8, стабилизирующий элемент 9, выполненный в виде ключевого стабилизатора тока и предназначенный для регулирования выходного напряжения. Постоянное напряжение от первичного источника питания поступает через стабилизирующий элемент 9 на вход преобразователя 1 напряжения. На вторичной обмотке 3 трансформатора 2 появляется переменное напряжение, которое умножается до необходимой величины и выпрямляется выпрямительным блоком 5, после чего прикладывается к нагрузке. Часть выходного напряжения через делитель 6 направляется на вход регулируемого импеданса 7. Данное устройство выбрано в качестве прототипа.

Прототип позволяет вырабатывать стабилизированное напряжение, регулируемое в некотором небольшом диапазоне. Это приводит к ограничению области применения.

Заявляемое изобретение описывает устройство, позволяющее вырабатывать регулируемое напряжение в более широком диапазоне, что увеличивает его область применения.

Поставленная задача решается тем, что в высоковольтный стабилизатор постоянного напряжения, содержащий стабилизирующий элемент, преобразователь напряжения, подключенный к стабилизирующему элементу, трансформатор, первичная обмотка которого подключена к преобразователю напряжения, третья обмотка трансформатора подсоединена к вспомогательному выпрямителю, выход которого соединен с измерителем сигнала обратной связи, а вторичная обмотка подключена к выпрямительному блоку, делитель напряжения, отличающийся тем, что содержит дополнительную обмотку трансформатора к которой подключен дополнительный выпрямитель.

На рисунке 2 представлено устройство, которое содержит преобразователь напряжения 1, выполненный в виде ключевого стабилизатора, трансформатор 2 с двумя

дополнительными обмотками 4 и 10, выпрямительный блок 5, делитель напряжения 6, измеритель сигнала обратной связи 7, выполненный по типу «регулируемый параметр – блок сравнения – опорный элемент», два вспомогательных выпрямителя 8 и 11, стабилизирующий элемент 9.

Преобразователь напряжения 1 соединен с первичной обмоткой трансформатора, вторичная обмотка 3 которого подключена к выпрямительному блоку 5. К выходу выпрямительного блока 5 присоединен делитель напряжения 6, который соединен с измерителем сигнала обратной связи 7. К вторичной обмотке трансформатора 4 присоединен дополнительный выпрямитель 8, который соединен с измерителем сигнала обратной связи 7. Измеритель обратной связи 7 соединен со стабилизирующим элементом 9. К вторичной обмотке трансформатора 10 присоединен дополнительный выпрямитель 11, соединенный со стабилизирующим элементом 9, соединенного с преобразователем напряжением 1.

Устройство работает следующим образом. Напряжение подается на стабилизирующий элемент, после которого поступает на вход преобразователя напряжения, и подается на трансформатор. Трансформатор имеет две дополнительные обмотки, необходимые для питания вспомогательных цепей устройства. На основной вторичной обмотке трансформатора появляется переменное напряжение, которое увеличивается до необходимой величины и выпрямляется выпрямительным блоком. Далее сигнал поступает через делитель напряжения на измеритель сигнала обратной связи, в котором происходит сравнение напряжения сигнала обратной связи с напряжением опорного элемента, по результату которого производится регулировка и стабилизация выходного напряжения стабилизирующим элементом. Он выполнен в виде ШИМ-модулятора. Выпрямительный блок построен на основе однотактного инвертора с обратным диодом, что позволяет регулировать напряжение на выходе устройства в широких пределах с помощью ШИМ-модулятора [4]. Для инвертора с обратным диодом:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{п}} * n_{12} * \gamma / (1 - \gamma)$$

Измеритель сигнала обратной связи выполнен на основе операционного усилителя. Питание стабилизирующего элемента и измерителя сигнала обратной связи происходит с помощью двух дополнительных обмоток трансформатора, к которым подключены два дополнительных выпрямителя, напряжение на которых, не зависит от напряжения на выходе устройства. Дополнительные выпрямители выполнены по схеме инвертора с прямым диодом [4]. Для инвертора с прямым диодом (без дополнительного индуктивного элемента):

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{п}} * n_{12},$$

Следовательно, получаем постоянное напряжение не зависящее от напряжения на выходе устройства.

В результате имеем устройство, которое позволяет получать регулируемое в широком диапазоне выходное напряжение и постоянное напряжение для питания собственных электрических цепей.

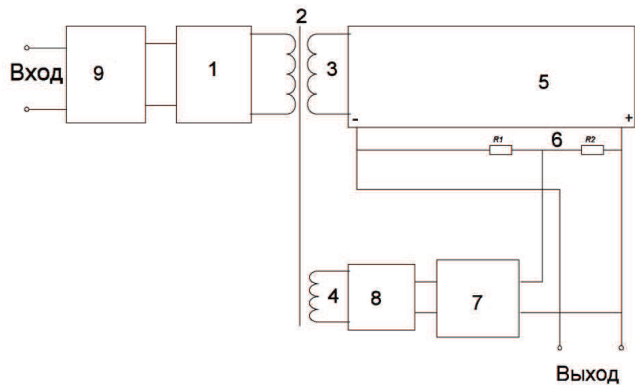
Список используемых источников:

1. Авт. св. СССР № 788090, G-05-F 1/56
2. Авт. св. СССР № 2095848, G-05-F 1/56
3. Авт. св. СССР № 1180860, G-05-F 1/46
4. Иванов-Цыганов А.И. Электропреобразовательные устройства РЭС: Учеб. Для вузов по спец. «Радиотехника». -4-е изд. – М.: Высш. Шк., 1991. – 272 с.

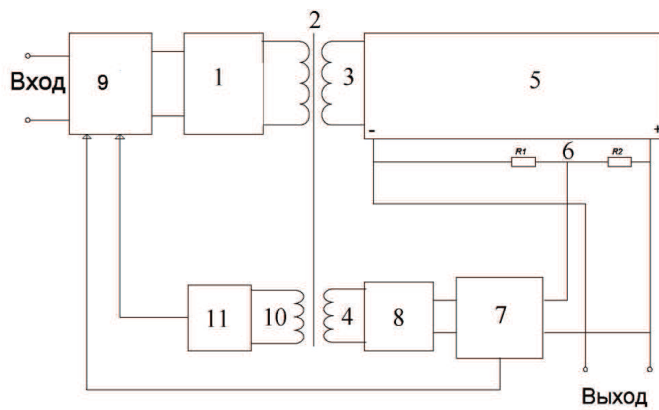
Формула изобретения

Регулируемый стабилизатор постоянного напряжения, содержащий стабилизирующий элемент, преобразователь напряжения, подключенный к стабилизирующему элементу, трансформатор, первичная обмотка которого подключена к преобразователю

напряжения, третья обмотка трансформатора подсоединена к вспомогательному выпрямителю, выход которого соединен с измерителем сигнала обратной связи, а вторичная обмотка подключена к выпрямительному блоку, делитель напряжения, отличающийся тем, что содержит четвертую обмотку трансформатора к которой подключен еще один вспомогательный выпрямитель, к которому подсоединен стабилизирующий элемент, причем оба вспомогательных выпрямителя являются нерегулируемыми.



Фиг. 1



Фиг. 2

Заявка 2009131118 РФ. Наноразмерное анионо-дефектное вещество на основе оксида алюминия для люминесцентного дозиметра ионизирующих излучений / В. С. Кортон, Ю. А. Котов, А. И. Слесарев, А. И. Медведев. Заявл. 14.08.2009.

Реферат

Изобретение относится к радиационной физике твердого тела, а именно, к веществам (детекторам), предназначенным для люминесцентной дозиметрии ионизирующих излучений и может быть использовано в персональной и клинической дозиметрии, при мониторинге радиационной обстановки на различных объектах. Наноразмерное анионо-дефектное вещество на основе оксида алюминия включает алюминий в кристаллическом состоянии, в него введен магний в кристаллическом состоянии, оксид алюминия находится в альфа-фазе в керамическом состоянии, размеры зерен всех составляющих вещества находятся в пределах 50–70 нм при следующем соотношении указанных составляющих в весовых процентах: магний – 0,01–0,05, алюминий – 0,1–0,5, оксид алюминия – 99,45–99,89. Технический результат изобретения заключается в увеличении верхнего значения линейного диапазона дозовой зависимости до 10 Гр и в повышении точности оценки поглощенной дозы. Кроме того, обеспечивается проведение измерений поглощенной дозы в двух рабочих областях по температуре – низкотемпературной области с пиком 256°С и высокотемпературной области с пиком 375°С. 3 ил., 1 табл., 6 пр.

Формула изобретения

Наноразмерное анионо-дефектное вещество на основе оксида алюминия для люминесцентного дозиметра ионизирующих излучений, включающее алюминий в кристаллическом состоянии, отличающееся тем, что в него введен магний в кристаллическом состоянии, оксид алюминия находится в α -фазе в керамическом состоянии, размеры зерен всех составляющих вещества находятся в пределах 50–70 нм при следующем соотношении указанных составляющих в весовых процентах: магний – 0,01–0,05, алюминий – 0,1–0,5, оксид алюминия – 99,45–99,89.

Заявка 2009139563 РФ. Дорожный знак / М. С. Попыванова, С. В. Кортов, Б. В. Шульгин, С. О. Чолах, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, А. В. Семенова. Заявл. 26.10.2009.

Реферат

Использование: для организации дорожного движения. Сущность изобретения заключается в том, что предлагаемый дорожный знак содержит закрепленный на металлической подложке источник света в виде плоского листа с размерами, совпадающими с размерами информационного поля знака, и представляющий собой светящееся при подаче напряжения белым светом OLED-покрытие, на лицевой стороне которого нанесен изображающий пиктограмму или надпись знака полупрозрачный слой. Технический результат: повышение надежности восприятия дорожного знака в условиях недостаточной видимости.

Описание изобретения

Изобретение относится к элементам организации дорожного движения, а именно к дорожным знакам, предназначенным для предупреждения, оповещения и информирования участников движения (водителей и пешеходов) в различных погодных и временных условиях в рамках действующей международной конвенции о безопасности дорожного движения и национальных правил дорожного движения.

Основное требование, предъявляемое к дорожным знакам, связано с максимально возможным расстоянием их прочтения участниками движения (водителями и пешеходами) в различных погодных и временных условиях. Для прочтения дорожного знака в светлое время суток в отсутствие тумана, дождя, снегопада и прочих негативных атмосферных явлений достаточно иметь знак, нарисованный обычными красками. Однако в условиях сумерек и темного времени суток, в условиях недостаточной видимости, прочтение таких дорожных знаков существенно усложняется. По этой причине большинство используемых сегодня на дорогах России и мира дорожных знаков имеют светоотражающие покрытия, обеспечивающие подсветку изображенных на них пиктограмм и надписей в свете фар транспортных средств. Однако в ряде случаев подобное техническое решение не может обеспечить надежное прочтение дорожного знака. К этим случаям относятся:

1. Знаки, предназначенные для пешеходов. Обуславливается это тем, что пешеходы в отличие от транспортных средств не имеют мощных внешних источников света и потому не способны обеспечить подсветку дорожного знака со светоотражающим покрытием. При этом не обеспечивается достаточный уровень безопасности перемещения пешеходов и дорожного движения в целом.

2. Знаки, расположенные на высотных п-образных конструкциях, используемых в городах на крупных перекрестках. Обуславливается это тем, что настройки внешних световых приборов транспортных средств выполнены так, чтобы обеспечить освещение сравнительно небольшого (30-100 м) участка дороги впереди транспортного средства и при этом не допустить ослепления водителей встречных транспортных средств. По этой причине свет от стандартных фар автомобилей не способен обеспечивать подсветку светоотражающих знаков, расположенных на высоте 4-5 и выше метров над уровнем дороги, а именно на таких высотах располагаются знаки на высотных п-образных конструкциях, используемых в городах на крупных перекрестках. Учитывая высокие скорости движения транспортных средств и насыщенность дорожного движения в городах можно утверждать, что такие светоотражающие знаки не обеспечивают достаточного уровня безопасности дорожного движения.

3. Знаки, находящиеся в условиях тумана, дождя, снегопада и иных атмосферных явлений, препятствующих прочтению знака. Это обусловлено тем, что в условиях тумана

на, дождя, снегопада и иных атмосферных явлений свет от фар транспортных средств претерпевает сильное рассеяние на пути к знаку и потому количество отраженного от знака света оказывается слишком малым, чтобы своевременно прочесть знак. Все это также не способствует обеспечению высокого уровня безопасности дорожного движения.

4. Знаки, находящиеся в сложном рельефе местности или в условиях слишком пестрого пейзажа. Это обусловлено тем, что обычные знаки, расположенные в условиях сложного рельефа или слишком пестрого окружения могут сливаться с последним, не обеспечивая своевременное распознавание знаков участниками движения. Это также не способствует повышению уровня безопасности дорожного движения.

Все перечисленные выше ситуации могут быть разрешены при использовании дорожных знаков, имеющих собственную подсветку, т. е. при использовании так называемых освещаемых дорожных знаков. Все известные освещаемые дорожные знаки содержат в качестве источника света либо лампы накаливания, которые не обеспечивают должного контраста и равномерности по интенсивности освещения представленных на знаке пиктограмм или надписей, либо содержат светодиоды, из которых собственно и выложен знак и из-за которых представленное на знаке изображение оказывается слишком дискретным при включенном знаке и плохо различимым при выключенном.

Среди современных источников света, пригодных для создания дорожных знаков отметим источники света на основе OLED-технологии, в которой применяются органические тонкопленочные светодиоды. OLED-источники света в отличие от других источников света характеризуется низким энергопотреблением, качественной цветопередачей, гибкостью, дешевизной технологии изготовления и используемых материалов, длительным сроком работы. Они уже находят успешное применение при производстве дисплеев для компьютеров, телевизоров, сотовых телефонов, GPS-навигаторов, фотоаппаратов, автомобильных бортовых компьютеров, лицевого панелей автомагнитол, MP3-плееров и т. д. В рамках настоящей заявки нами предлагается использование OLED-технологий для создания освещаемого дорожного знака. Рассмотрим конкретные аналоги и прототипы предлагаемого технического решения.

Известен дорожный светоотражающий знак (заявка РФ № 2001124762/28, МПК E01F9/04, опублик. 10.07.2003), содержащий стеклянный моноблок, состоящий из верхнего блока со сферической преломляющей поверхностью и нижнего блока со сферической отражающей зеркальной поверхностью. Однако известный дорожный знак не имеет собственных источников света, что усложняет его прочтение пешеходами в темное время суток, водителями в сложных погодных условиях, с больших расстояний в темное время суток, в сложном рельефе местности и на больших перекрестках при установке знака на высотных п-образных конструкциях.

Известен световозвращающий знак (заявка РФ № 2000119437/09, МПК G09F13/16, опублик. 10.08.2002), содержащий основу из непрозрачного материала с множеством световозвращающих элементов, установленное на лабную поверхность основы защитное прозрачное покрытие и информационное поле. Однако данное изобретение не имеет собственных источников света, что усложняет его прочтение пешеходами в темное время суток, водителями в сложных погодных условиях с больших расстояний в темное время суток, в сложном рельефе местности и на больших перекрестках при установке знака на высотных п-образных конструкциях.

Наиболее близким к заявляемому является дорожный знак (патент РФ № 98106477/09, МПК G09F13/18, опублик. 20.04.2001), содержащий источник света, прозрачный лист, один край которого установлен вблизи источника света, который при использовании знака направляет свет вдоль прозрачного листа, снабженного на передней (обращенной к участнику дорожного движения) поверхности передним изображающим слоем, имеющим направленную назад отражающую поверхность, и снабженного на

задней поверхности задним изображающим слоем, по существу совпадающим с передним изображающим слоем. Известное изобретение может обеспечить усиленное освещение дорожного знака и его своевременное восприятие. Однако применение прозрачного листа, распределяющего свет от источника света, во-первых, усложняет конструкцию дорожного знака и, во-вторых, может приводить к неравномерному освещению знака из-за использования точечного источника света и неравномерности толщины листа и связанному с этим искажению восприятия информационного поля знака. Эти недостатки не позволяют известному изобретению обеспечить надежное прочтение знака в сложных погодных условиях с больших расстояний в темное время суток, в сложном рельефе местности и на больших перекрестках при установке знака на высотных п-образных конструкциях. По этой причине известное изобретение не обеспечивает должного уровня безопасности дорожного движения.

Задачей настоящего изобретения является создание такого дорожного знака, конструкция которого обеспечивала бы надежное и своевременное распознавание изображенных на нем пиктограмм и надписей в различных погодных и временных условиях (особенно в условиях недостаточной видимости: в плохую погоду, с больших расстояний, в темное время суток, в сложном рельефе местности и на больших перекрестках при установке знака на высотных п-образных конструкциях) при малых показателях энергопотребления и высокой долговечности конструкции.

Задача изобретения решается за счет использования в конструкции дорожного знака источника света на основе OLED-технологии, отличающегося низким энергопотреблением, качественной цветопередачей, гибкостью, дешевой технологией изготовления и используемых материалов, длительным сроком работы.

Суть изобретения заключается в том, что дорожный знак содержит закрепленный на металлической подложке источник света в виде плоского листа с размерами, совпадающими с размерами информационного поля знака, и представляющий собой светящееся при подаче напряжения белым светом OLED-покрытие, на лицевой стороне (обращенной в сторону участника дорожного движения) которого нанесен изображающий пиктограмму или надпись знака полупрозрачный слой.

Конструкция предлагаемого изобретения проиллюстрирована на фиг. 1.

Предлагаемый дорожный знак состоит из:

- металлической подложки 1, выполняющей роль силового элемента;
- источника света 2, закрепленного на металлической подложке, выполненного в виде плоского листа с размерами, совпадающими с размерами информационного поля знака, и представляющего собой светящееся при подаче напряжения белым светом OLED-покрытие;
- полупрозрачного слоя 3 с изображением пиктограммы или надписи, нанесенного на лицевую часть источника света (OLED-покрытия).

Устройство работает следующим образом. В светлое время суток в условиях хорошей видимости питающее напряжение на источник света 2 (OLED-покрытие) не подается. Визуальное изображение знака формируется полупрозрачным слоем 3 с изображением пиктограммы или надписи знака. В темное время суток, или в условиях недостаточной видимости, или в прочих случаях усложняющих восприятие знака на источник света 2 (OLED-покрытие) подается питающее напряжение, под действием которого светящаяся сторона OLED-покрытия, обращенная в сторону полупрозрачного слоя 3, начинает равномерно светиться белым светом. Испускаемый OLED-покрытием белый свет, проходя через полупрозрачный слой с изображением пиктограммы или надписи знака, обеспечивает надежное и своевременное восприятие знака участниками дорожного движения.

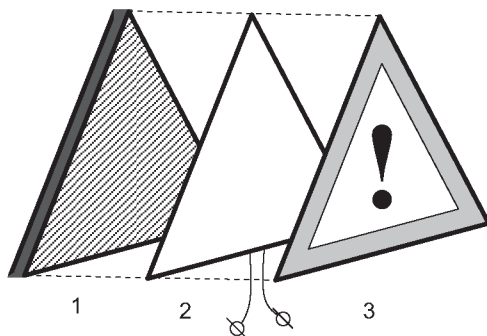
Дополнительным преимуществом предлагаемого изобретения является низкое энергопотребление и связанная с этим возможность широкого использования подобных

знаков вдали от электрических сетей при использовании автономных источников электроэнергии, например, аккумуляторов или накопителей на солнечных батареях, что может быть актуально, например, при проведении ремонтных работ на загородных дорогах.

Еще одним преимуществом предлагаемого изобретения является возможность его использования для отображения информации, не связанной с дорожным движением, например, в качестве рекламных или информационных щитов произвольного содержания. В этом случае на полупрозрачном слое вместо пиктограммы или надписи дорожного знака отображается рекламная или иная информация.

Формула изобретения

Дорожный знак, содержащий металлическую подложку, источник света и изображающий слой с информационным полем знака, отличающийся тем, что источник света выполнен по OLED-технологии в виде плоского листа с белым свечением с размерами, совпадающими с размерами информационного поля знака, а изображающий слой выполнен полупрозрачным.



Фиг. 1

Заявка 2010104301 РФ. Устройство мониторинга электронного оборудования / Н. Е. Порывай, Г. К. Хохлов, К. О. Хохлов. Заявл. 08.02.2010.

Резюме

Заявленное изобретение относится к устройствам, осуществляющим контроль режимов эксплуатации объектов, в частности объектов электронного оборудования, а также выполняющим охранные функции при аварийных ситуациях.

Устройство мониторинга электронного оборудования содержащее микроконтроллер, к аналоговым входам которого подключены: блок контроля питания 220В, 380В и -48В, датчики температуры, датчики влажности. К цифровым входам микроконтроллера подключен блок дискретных датчиков. Для индикации причины отключения питающего напряжения и информации о состоянии оборудования к микроконтроллеру подключен блок сигнализации и индикации состояния оборудования, для коммутации питающего напряжения к микроконтроллеру подключен блок реле. Для связи с диспетчером микроконтроллер подключен к устройству связи с диспетчерским терминалом. Для питания устройства предусмотрен блок питания.

Технический результат заключается в возможности коммутации питающего напряжения электронного оборудования в автоматическом режиме (отключение питания при недопустимых условиях эксплуатации электронного оборудования или недопустимом уровне питающего напряжения, при несанкционированном доступе) либо по сигналу с диспетчерского пульта.

Описание изобретения

Изобретение относится к устройствам, осуществляющим контроль режимов эксплуатации электрических объектов, в частности объектов электросвязи, а также выполняющих охранные функции при аварийных ситуациях, которые возникают при взломе, пожаре, затоплении, колебаниях напряжения питающей сети и т.п. на этих объектах.

Известны устройства для осуществления перечисленных функций [заявки на изобретение №2003121362, G08B 25/08 и 2005105171, G08B 25/00].

На фиг. 1 представлено устройство (Патент РФ №2322697С2, G08B 25/08, G08B 26/00, 2005 г.), осуществляющее контроль режимов эксплуатации объектов. Данное устройство содержит микропроцессорный контроллер (МПК) 1, питание МПК 1 осуществляется через узел питания 2. Блоки 3,4,5,6 используются для контроля напряжения, для фиксации появления открытой влаги используются датчики 7 и 8. Для контроля температуры применяются датчики 9 и 10, блоки 11 и 14 являются блоками дискретных датчиков (сухих контактов). Блоки 12 и 13 используются для индикации и сигнализации аварийных ситуаций, модуль 15 преобразует данные для связи с диспетчерским центром (ДЦ). Через модуль расширения 16 возможно подключение периферийного оборудования. Данное устройство выбрано в качестве прототипа.

Прототип позволяет контролировать напряжения сети 220В и 380В, состояния контактных датчиков, температурных датчиков и датчиков влажности, а также сигнализировать о нештатном состоянии объекта. Однако прототип не позволяет осуществлять коммутацию силового питания контролируемого оборудования. Для чего это нужно. Это необходимо для случаев, когда возможны изменения величины питающего напряжения сети 220В, 380В или низковольтного специализированного напряжения (в частности – 48В для электронного оборудования связи). При превышении или скачке напряжения питания необходимо осуществлять отключение оборудования от питающей сети для предотвращения выхода электронного оборудования из строя, либо осуществлять кратковременное отключение питания оборудования при необходимости перезагрузки в случае сбоя в работе и «зависания» электронного оборудования.

Заявляемое изобретение описывает устройство, которое контролирует перечисленные выше параметры, а кроме этого позволяет автоматически (по заданному алгоритму) или по решению оператора на диспетчерском терминале осуществлять отключение контролируемого электронного оборудования от питающей сети.

Поставленная задача решается следующим образом. В устройство мониторинга электронного оборудования, содержащее микроконтроллер с блоком питания, блок контроля питающего сетевого напряжения и любого другого низковольтного специализированного напряжения, датчики температуры и влажности, блок дискретных датчиков, блок сигнализации и индикации, блок связи с диспетчерским пультом дополнительно введен блок реле коммутации питающего сетевого напряжения электронного оборудования, подключенный к микроконтроллеру.

На фиг. 2 представлено устройство, которое содержит микроконтроллер (1), блок питания (2), блок контроля питания 220В, 380В и -48В (3), датчики температуры (4), датчики влажности (5), блок дискретных датчиков (6), блок сигнализации и индикации состояния оборудования (7), блок реле (8) и устройство связи с диспетчерским терминалом (9).

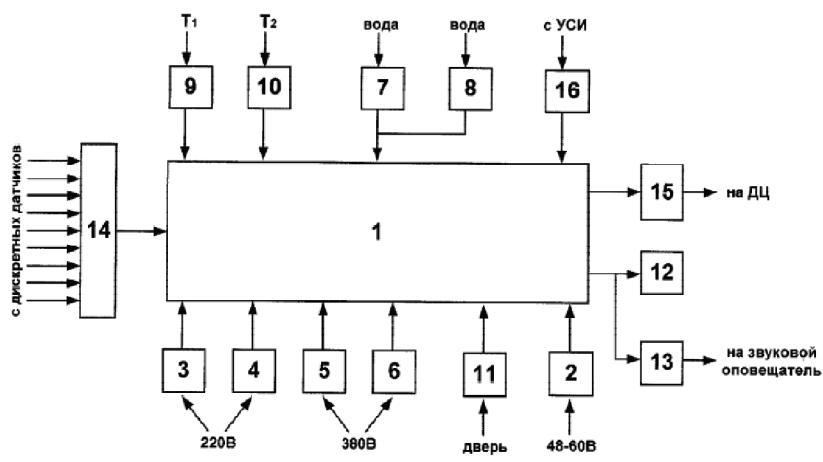
К аналоговым входам микроконтроллера (1) подключены: блок контроля питания 220В, 380В и -48В (3), датчики температуры (4), датчики влажности (5). К цифровым входам микроконтроллера (1) подключен блок дискретных датчиков (6), которые представляют собой набор сухих контактов или других контактных датчиков состояния объектов (например, контактные датчики дверей промышленных стоек, датчики положения оборудования, и т. п.). К выходам микроконтроллера (1) подключен блок сигнализации (звуковой) и индикации (световой) состояния оборудования (7) и блок реле (8). Для связи с диспетчерским пультом микроконтроллер (1) связан с устройством связи с диспетчерским терминалом (9). Питание микроконтроллера (1) и устройства связи с диспетчерским терминалом (9) осуществляется посредством блока питания (2).

Устройство работает следующим образом. Микроконтроллер в автоматическом режиме с некоторой периодичностью анализирует состояние уровней напряжения в сети 220В, 380В или другого низковольтного питающего напряжения через блок контроля напряжения, данные о влажности и температуре, а также состояние дискретных датчиков (сухие контакты и др.). При недопустимых условиях эксплуатации электронного оборудования или недопустимом уровне питающих напряжений, подается сигнал блоку реле для отключения оборудования и сигнализирует о факте и причине отключения посредством блока сигнализации и индикации. Через устройство связи с диспетчерским терминалом (ДТ) микроконтроллер передает данные о состоянии дискретных датчиков, датчиков влажности и температуры, а также о величине напряжении питания 220В или 380В, а также низковольтного питания (в частности – 48В для аппаратуры связи) на диспетчерский пульт. У оператора имеется возможность осуществлять коммутацию (выключения) питания электронного оборудования с целью защиты электронного оборудования от выхода из строя, или для перезагрузки (путем выключения-включения) при перезапуске. Технический результат – защита дорогостоящего электронного оборудования от выхода из строя путем отключения (автоматически или по команде оператора с диспетчерского терминала) при недопустимых условиях эксплуатации, несанкционированном доступе или недопустимых колебаниях напряжения питания.

Формула изобретения

Устройство мониторинга электронного оборудования, содержащее микроконтроллер с блоком питания, блок контроля питающего сетевого напряжения и любого другого низковольтного специализированного напряжения, датчики температуры и влажности, блок дискретных датчиков, блок сигнализации и индикации, блок связи с диспетчерским пультом, отличающееся тем, что дополнительно введен блок реле коммутации пи-

тающего сетевого напряжения электронного оборудования, подключенный к микро-контроллеру.



Фиг. 1

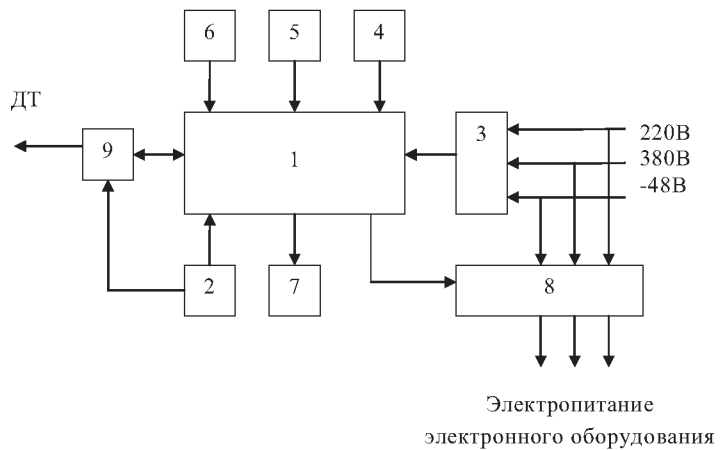


Рис. 2

Заявка 2010107507 РФ. Сцинтилляционный детектор для регистрации тепловых нейтронов / Б. В. Шульгин, В. И. Арбузов, К. В. Дукельский, А. В. Хохлов, В. С. Шевандин, В. Ю. Иванов, А. Н. Черепанов, И. И. Мильман. Заявл. 01.03.2010.

Реферат

Применение: для регистрации интенсивных потоков тепловых нейтронов.

Суть изобретения: сцинтилляционный детектор для регистрации тепловых нейтронов содержит сцинтилляционный датчик на основе ${}^6\text{Li}$ -содержащего силикатного стекла, активированного церием и чувствительного к тепловым нейтронам, фотоэлектронный умножитель и блок обработки сигналов, причем сцинтилляционный датчик выполнен в виде набора из активированных церием ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон круглого или квадратного сечения с внешним размером волокна 0,2 – 2 мм и длиной до 0,5 – 1 м, собранных в пучок с пластмассовой крепежной оболочкой, а между сцинтилляционным датчиком и фотоэлектронным умножителем, сочетанным с блоком обработки сигналов, дополнительно установлен кварцевый волоконный световод.

Технический результат: возможность регистрации интенсивных потоков тепловых нейтронов в каналах ядерных реакторов.

Описание изобретения

Заявляемое устройство относится к области детектирования тепловых нейтронов. Оно пригодно для применения в дозиметрических устройствах радиологического контроля при определении плотности потока тепловых нейтронов от нейтронных источников различного типа, особо для определения плотности потоков тепловых нейтронов в горизонтальных каналах исследовательских ядерных реакторов вблизи активной зоны и на разных глубинах каналов в биологической защите реактора, когда фотоприемное устройство и блок обработки информации должны быть вынесены за пределы зоны с повышенной радиацией и удалены от сцинтилляционного датчика на значительное расстояние (до нескольких метров).

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов СПС-Т4А (Пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А. Сухуми. Рекламный листок Сухумского ФТИ, 1990). Датчик детектора представляет собой пластмассовый сцинтилляционный детектор СПС-Т4А, предназначенный для регистрации быстрых нейтронов. Детектор имеет следующие характеристики: длительность сцинтиллимпульса, создаваемого нейтронами – 8,5 нс; световой выход (УЕСВ по ГОСТ 23077-78) при возбуждении электронами с энергией 662 кэВ – 0,29; максимум спектра люминесценции – 490 нм, диаметр и высота – до 50 мм. Однако такой детектор не пригоден для регистрации тепловых нейтронов. Кроме того, поскольку длина сцинтиллятора не превышает 5 – 10 см, сочетанное с ним фотоприемное устройство в виде фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) при работе в каналах ядерного реактора с высокими плотностями потоков нейтронов может выйти из строя.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор (Пат. РФ 2248011, МПК G02B 6/02, G02B 6/16, G01T 1/20, G01T 3/06) рентгеновского излучения, в котором в качестве сцинтиллятора используются волокна на основе галогенидов серебра AgCl-AgBr-AgI . Регистрирующая часть этих волокон содержит активирующую добавку (ионы Tl, либо Sr, либо Eu, либо Ce в количестве 0,01 – 0,001 мас. %), а передающая часть волокон выполнена без активирующих добавок. Рентгеновское излучение, попадая в регистрирующую часть волокон детектора, вызывает в них появление сцинтилляций с длиной волны ~ 400 нм и длительностью 20 нс, что обеспечивает визуализацию рентгеновского излучения. Возникающие световые всплески через передающую часть волокон детектора поступают практически без потерь в удаленное от источника излучения фотоприемное устройство с блоком электронной обработки сигналов. Однако известный све-

товолоконный сцинтилляционный детектор не пригоден для регистрации тепловых нейтронов, поскольку не содержит нейтронного сенсорного датчика.

Известен сцинтилляционный детектор для регистрации ионизирующего излучения (Пат. 2088952 РФ, МПК G01T 1/20, 3/06), состоящий из датчика-сцинтиблока и блока электронной обработки сигналов. В состав датчика-сцинтиблока входят последовательно соединенные сцинтилляционный кристалл $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, чувствительный к протонному, рентгеновскому, а также к альфа-, бета-, гамма-излучениям, и массивный короткий световод, изготовленный из органического сцинтиллирующего вещества на основе стильбена или пластмассы $(\text{CH})_n$, чувствительного к быстрым нейтронам, а также фотоэлектронный умножитель, преобразующий световые вспышки (сцинтилляции) в электрические сигналы. Блок электронной обработки сигналов включает в себя схему временной селекции сцинтимпульсов, поступающих в него как от альфа-, бета-, гамма-сцинтилляций $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (длительностью 300 нс), так и от сцинтиллирующего под действием быстрых нейтронов световода (с длительностью сцинтилляций 5 – 7 нс). Однако данный детектор, будучи чувствительным к быстрым нейтронам, не чувствителен к тепловым нейтронам и не пригоден для их регистрации.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор (Пат. 2262722 РФ, МПК G01T 5/00), содержащий сенсорный датчик регистрации рентгеновского, гамма- и других ядерных излучений в виде набора сцинтиллирующих волокон $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) и фотоприемное устройство, находящиеся в оптическом контакте друг с другом. Детектор предназначен для визуализации траектории и пространственного распределения высокоэнергетических частиц. Однако данный детектор не пригоден для регистрации тепловых нейтронов в каналах ядерных реакторов, поскольку не содержит нейтронного сенсорного датчика

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов на основе пластика и ^6Li -силикатного стекла (Пат. 2143711 РФ, МПК G01T 1/20 3/00). Известный детектор содержит датчик-сцинтиблок и блок электронной обработки сигналов. В состав датчика-сцинтиблока входят помещенные в единый корпус три параллельно-последовательно соединенных сцинтиллятора: входной нейтронный сцинтиллятор, выполненный из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородосодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стильбена (сцинтиллятор с колодцем), играющий одновременно роль входного замедлителя быстрых нейтронов до тепловых энергий; размещенный в колодце входного сцинтиллятора сцинтилляционный кристалл NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительный к гамма-излучению; чувствительный к тепловым нейтронам внутренний сцинтиллятор на основе активированного церием ^6Li -силикатного стекла и фотоэлектронный умножитель. Блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от двух нейтронно-чувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl .

Однако известный сцинтилляционный детектор, будучи чувствительным к тепловым нейтронам, не пригоден для работы в каналах ядерного реактора с высокими плотностями потока нейтронов, поскольку функционирование фотоприемного устройства (ФЭУ) будет нарушено вследствие радиационного воздействия нейтронов. Кроме того, известное сцинтилляционное устройство имеет еще один существенный недостаток, связанный с пониженной стойкостью сцинтиблока к ударным нагрузкам, так как кристалл NaI:Tl отличается высокой гигроскопичностью.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов (Пат. 2272301 РФ, МПК G01T 1/00, 1/20, 3/06), состоящий из датчика, включающего входной замедлитель нейтронов из водородосодержащего вещества, внутренний дискообразный сцинтиллятор из активированного церием ^6Li -силикатного стекла, находящийся в оптическом контакте с

входным окном фотоэлектронного умножителя, и блока электронной обработки сигналов. Особенностью данного технического решения является то, что в датчике за входным замедлителем нейтронов, выполненным в форме цилиндра с конусообразной полостью, расположены покрытый светоотражающей пленкой дополнительный входной сцинтиллятор из активированного церием ^6Li -силикатного стекла в форме полого конуса, дополнительный конусообразный замедлитель нейтронов и внутренний дискообразный сцинтиллятор из активированного церием ^6Li -силикатного стекла, при этом дополнительный входной сцинтиллятор в форме полого конуса расположен внутри входного замедлителя. Недостатком известного сцинтилляционного детектора тепловых нейтронов является то, что данная конструкция не пригодна для измерения больших потоков нейтронного излучения в каналах ядерного реактора в связи с тем, что при таких измерениях датчик-сцинтиллок целиком оказывается в зоне больших плотностей потоков нейтронов, которые не только создают полезные с точки зрения регистрации излучения сцинтилляционные вспышки в дискообразном сцинтилляторе из активированного церием ^6Li -силикатного стекла, но и вносят неустраняемые помехи в работу фотоэлектронного умножителя, который находится в непосредственной близости к сцинтиллятору.

Известен сцинтилляционный детектор, разработанный фирмой Мицубиси (пат США № 5434 415, МПК G 01T 1/20, 1/203 от 18.07.1995), содержащий сцинтиллятор NaI:Tl , люминесцентный волоконный световод-сместитель спектра и фотоприемное устройство. Однако известный сцинтилляционный детектор, располагаемый и предназначенный для работы в водном замедлителе-поглотителе ядерного реактора как вблизи активной зоны реактора, так и на удалении от нее на несколько метров, пригоден для регистрации только гамма-излучения, он не пригоден для регистрации тепловых нейтронов, поскольку не содержит нейтронного сенсорного датчика.

Наиболее близким к заявляемому является сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов (Пат. 2259573 РФ, МПК G01T 1/00, 1/20, 3/06). Известный детектор состоит из сцинтилляционного датчика, фотоэлектронного умножителя и блока электронной обработки сигналов. Сцинтилляционный датчик состоит из двух размещенных в едином корпусе пластикового и стеклянного сцинтилляторов, выполненных в виде пластин с плоскопараллельными соприкасающимися гранями, находящимися в оптическом контакте друг с другом и с фотоэлектронным умножителем. Пластиковый сцинтиллятор изготовлен в виде клина из органического водородсодержащего вещества, избирательно чувствительного к быстрым нейтронам, которые за счет протонов отдачи вызывают в нем световые вспышки, и служит для регистрации быстрых нейтронов. Стеклянный сцинтиллятор на основе ^6Li -силикатного стекла предназначен для регистрации тепловых нейтронов. Оба сцинтиллятора снабжены световозвращающей пленкой и образуют единый сцинтилляционный датчик, оборудованный свинцовым коллиматором, размещенным вместе с датчиком в полиэтиленовом пенале-накопителе тепловых нейтронов. Фотоэлектронный умножитель, устанавливаемый с торца пластикового сцинтиллятора, сигналы с которого поступают на блок электронной обработки сигналов, обеспечивает подсчет числа импульсов, вызванных сцинтилляциями, возникающими в обоих сцинтилляторах. Недостатком известного сцинтилляционного детектора быстрых и тепловых нейтронов является то, что он непригоден для измерения больших потоков нейтронного излучения в каналах ядерного реактора из-за помех, вносимых нейтронным излучением в работу ФЭУ, входящего в состав детектора, и невозможности предохранить ФЭУ от этого влияния без потери эффективности регистрации нейтронного излучения детектором в целом.

Задачей изобретения является разработка сцинтилляционного детектора для регистрации тепловых нейтронов, пригодного для работы в нейтронных радиационных полях не только с низкими, но и с высокими плотностями потоков нейтронов (до $10^{12-10^{13}} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$), характерными для ядерных реакторов.

Задача решается за счет того, что сцинтилляционный детектор для регистрации тепловых нейтронов содержит сцинтилляционный датчик на основе чувствительного к тепловым нейтронам сцинтиллирующего ${}^6\text{Li}$ -содержащего силикатного стекла, активированного церием, фотоэлектронный умножитель и блок обработки сигналов, причем сцинтилляционный датчик выполнен в виде набора сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон круглого или квадратного сечения с внешним размером волокна 0,2 – 2 мм и длиной до 0,5 – 1 м, собранных в пучок с пластмассовой крепежной оболочкой, а между сцинтилляционным датчиком и фотоэлектронным умножителем с помощью двух оптических фитингов дополнительно установлен волоконный световод из кварцевого стекла длиной до нескольких метров, который обеспечивает передачу сцинтилляционных вспышек от ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон к ФЭУ и позволяет разместить ФЭУ вдали от источника нейтронов (активной зоны ядерного реактора), тем самым предотвращая радиационное повреждение/поражение фотоприемного устройства от воздействия интенсивных потоков нейтронов.

Схема предлагаемого устройства представлена на фиг. 1.

Предлагаемое устройство содержит сцинтилляционный датчик, который представляет собой чувствительный к тепловым нейтронам набор сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ -содержащих активированных церием стекловолокон круглого или квадратного сечения с внешним размером волокна 0,2 – 2 мм и длиной до 0,5 – 1 м, собранных в пучок 1 с пластмассовой крепежной оболочкой, размещенный в непрозрачном металлическом корпусе 2, причем входные торцы ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон имеют светоотражающее покрытие. Сцинтилляционный датчик через фиттинг 3 с оптическим контактом соединен с кварцевым волоконным световодом 4 длиной до нескольких метров, который через фиттинг 5 с оптическим контактом соединен с фотоэлектронным умножителем 6. Фотоэлектронный умножитель 6 находится в электрическом контакте с блоком электронной обработки сигналов 7.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Сцинтилляционный датчик размещают в поле регистрируемого излучения – в потоке тепловых нейтронов (например, вблизи активной зоны ядерного реактора). Тепловые нейтроны практически без потерь проходят через корпус 2 сцинтилляционного датчика и попадают на чувствительный к тепловым нейтронам пучок 1 сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ -содержащих стекловолокон, активированных церием, круглого или квадратного сечения. Тепловые нейтроны взаимодействуют по реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ с ядрами ${}^6\text{Li}$, входящими в состав стекловолокон, с образованием быстрых альфа-частицы и ядер трития, которые в свою очередь вызывают сцинтилляционные световые вспышки, обусловленные центрами свечения – ионами церия, входящими в состав стекловолокон. Эти сцинтилляционные вспышки, возникающие в пучке 1 стекловолокон, поступают через оптический контакт фиттинга 3 в кварцевый волоконный световод 4 длиной до нескольких метров, а затем через оптический контакт фиттинга 5 на фотоэлектронный умножитель 6, где происходит их регистрация. Сигналы с ФЭУ 6 поступают в блок электронной обработки сигналов 7 для окончательного анализа. За счет большой длины (до нескольких метров) кварцевого волоконного световода 4 фотоэлектронный умножитель 6 и блок электронной обработки сигналов 7 выносятся далеко за пределы поля регистрируемого излучения – интенсивного потока тепловых нейтронов и располагаются за пределами активной зоны ядерного реактора, что предохраняет ФЭУ от влияния интенсивного потока излучения без заметной потери эффективности регистрации нейтронного излучения детектором в целом.

Корпус 2 сцинтилляционного датчика дополнительно защищает пучок 1 сцинтиллирующих световолокон от внешнего света (в частности, от черенковского излучения), а также от рентгеновского и гамма-излучений, обычно сопутствующих нейтронным потокам в ядерных реакторах, что повышает избирательность регистрации тепловых нейтронов с помощью предлагаемого детектора. Наличие светоотражающего покрытия на

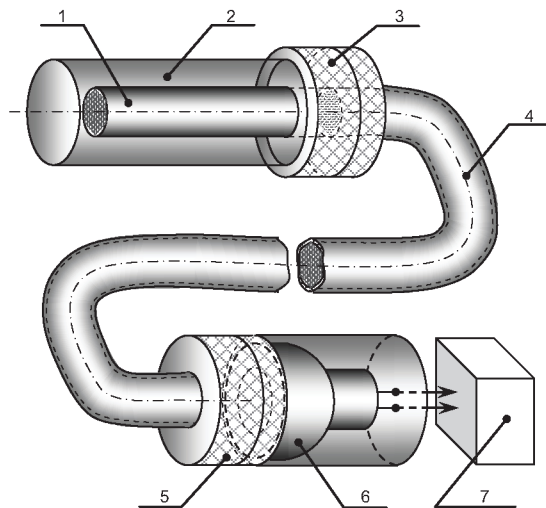
входных торцах сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ –стекловолокон уменьшает потери света в датчике и увеличивает эффективность регистрации тепловых нейтронов.

Волокна с квадратным сечением обеспечивают более плотную упаковку сцинтиллирующих стекловолокон в пучке сцинтилдатчика и соответственно более высокую, на 5 – 8%, эффективность регистрации тепловых нейтронов, что однако не является существенным преимуществом таких волокон.

${}^6\text{Li}$ –Стекловолоконна с наружным размером 0,2 – 2 мм обеспечивают минимальные потери света и необходимую гибкость сцинтилляционного датчика из пучка волокон длиной до 1м. Сцинтилляционные волокна сцинтилляционного датчика длиной более 1 м увеличивают светопоглощение в сцинтилляционном датчике и на 30% и более снижают эффективность сцинтилляционного детектора. Диаметр сцинтилляционных стекловолокон 0,1 мм и менее технологически и экономически неоправдан. При диаметре волокон 5мм и более наступает заметное поглощение света в материале сцинтиллятора и допустимая рабочая длина волоконного сцинтилляционного датчика уменьшается до 0,3-0,45 м., что на 30 – 50% и более снижает эффективность сцинтилляционного детектора тепловых нейтронов.

Формула изобретения

Сцинтилляционный детектор для регистрации тепловых нейтронов, содержащий сцинтилляционный датчик на базе чувствительного к тепловым нейтронам ${}^6\text{Li}$ -содержащего силикатного стекла, активированного церием, фотоэлектронный умножитель и блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что сцинтилляционный датчик выполнен в виде набора ${}^6\text{Li}$ -содержащих активированных церием стекловолокон круглого или квадратного сечения с внешним размером волокна 0,2 – 2 мм и длиной до 0,5 – 1 м, собранных в пучок с пластмассовой крепежной оболочкой, а между сцинтилляционным датчиком и фотоэлектронным умножителем, сочетанным с блоком электронной обработки сигналов, дополнительно установлен кварцевый волоконный световод.



Фиг. 1

Патент № 2468060 РФ. Двойной К-Na сульфат в качестве рабочего вещества термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения и способ его получения / М. М. Кидибаев, К. Шаршеев, У. К. Мамытбеков, Г. С. Денисов, И. И. Мильман, Б. В. Шульгин, Д. Г. Лисиенко. Заявл. 26.04.2010. Опубл. 27.11.2012. Бюл № 33.

Реферат

Область применения: измерение рентгеновского и гамма излучения при решении задач персональной дозиметрии, особо при определении дозозатрат персонала рентгеновских кабинетов и обслуживающего персонала мобильных комплексов радиационного контроля, а также при решении задач радиоэкологического мониторинга в зонах с повышенным радиационным фоном, особо на территориях хвостохранилищ урановых руд. Сущность изобретения: двойной К-Na-сульфата состава $K_{2-x}Na_xSO_4$, где $x=0,4 \div 0,6$, предложен в качестве рабочего вещества для термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения, разработан также и способ его синтеза, включающий приготовление исходной смеси ингредиентов, содержащей, мас. % : K_2SO_4 33,2-33,6, Na_2SO_4 66,4-66,8, перемешивание указанных ингредиентов, растворение приготовленной смеси ингредиентов в воде в соотношении 1:1, последующее выращивание кристаллов состава $K_{2-x}Na_xSO_4$, где $x=0,4 \div 0,6$, путем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора смеси сульфатов при $pH=4 \div 6$ при температуре $38,1 \pm 38,5$ °C при подсветке в течение суток светом красной лампы и дополнительную термохимическую обработку выращенных кристаллов путем нагрева кристаллов до температуры $150-160$ °C со скоростью $2,0 \div 2,2$ °C/с, выдержке при этой температуре в течение 3-5 мин и последующего охлаждения в режиме естественного остывания кристаллов. Технический результат: увеличение световыхода и чувствительности ТЛД – детектора рентгеновского и гамма-излучения состава $K_{2-x}Na_xSO_4$, где $x=0,4 \div 0,6$,

Описание изобретения

Изобретение относится к области дозиметрии рентгеновского и гамма излучения с помощью термолюминесцентных детекторов при решении задач персональной дозиметрии, особо при определении дозозатрат персонала рентгеновских кабинетов и обслуживающего персонала мобильных комплексов радиационного контроля, задач радиоэкологического мониторинга в зонах с повышенным радиационным фоном, особо на территориях хвостохранилищ отработанных урановых руд или других радиоактивных материалов и отходов.

Среди применяемых в дозиметрической практике запоминающих термолюминесцентных детекторов (ТЛД) достаточно широкое распространение получили ТЛД на основе сульфатов.

Известно давно применяемое в дозиметрической практике рабочее вещество для термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма- излучения на основе сульфата кальция $CaSO_4:Mn$ и способ его получения. (В.Ю. Иванов. Курс дозиметрии. М. Атомиздат, 1970. 392 с). Известное рабочее вещество для ТЛД на основе $CaSO_4:Mn$ получают в виде монокристаллов или в виде таблеток, спрессованных из порошка. Рабочее вещество для ТЛД на основе $CaSO_4:Mn$ имеет простую кривую термовысвечивания с одним максимумом при $80 - 100$ °C. Спектр термостимулированный люминесценции (ТСЛ) $CaSO_4:Mn$ находится в пределах $400 - 590$ нм с максимумом вблизи 500 нм и обеспечивает диапазон измеряемых доз рентгеновского и гамма-излучения до 10^2 Гр. Однако известное рабочее вещество для ТЛД на основе $CaSO_4:Mn$ обладает недостаточным высоким световыходом ТСЛ.

Известен способ получения сцинтилляционных составов на основе $LiKSO_4:Cu^{2+}$ (патент РФ №2148837. МПК G01T 1/202, 3/06. Заявл. 19.04.1999; опубл. 10.05.2000. Бюл.

№13). Кристаллы $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}$ выращивают методом медленного изотермического испарения из насыщенного водного раствора Li_2SO_4 , K_2SO_4 и H_2O в соотношении 1:1:1 при температуре 40°C при добавлении в исходный раствор сульфата меди $\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ в количестве 8-10 г/л. Эффективный атомный номер кристаллов LiKSO_4 равен $Z_{\text{эфф}} = 14,5$, он близок к эффективному атомному номеру биологической костной ткани $Z_{\text{эфф}} = 12$, что практически снимает проблему зависимости чувствительности детектора от энергии, то есть снимает проблему «хода с жесткостью». Однако вышеописанный способ по патенту РФ №21488837 известен как способ получения сцинтиллятора на основе $\text{LiKSO}_4\text{:Cu}^{2+}$ с максимумами спектра свечения при 435 – 445 нм и длительностью сцинтилляционной вспышки ~90 нс при α -возбуждении, термолуминесцентные свойства этого состава в патенте не описаны.

Известно рабочее вещество абсорбционного детектора рентгеновского излучения и способ его получения на основе кристаллов $\text{KNaSO}_4\text{:Cu}$ (К. Шаршеев, Ч.Т. Ордобаева. // О симметрии окружения примесных ионов Cu^{2+} в кристаллах KNaSO_4 . // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. научн. труд. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1999. Вып 1. С.59-62). Кристаллы KNaSO_4 (тригональная сингония. $R\bar{3}m1$, $a = 5,6066\text{\AA}$, $c = 7,177\text{\AA}$, $z = 2$) с примесью меди Cu^{2+} были выращены методом изотермического испарения из насыщенного водного раствора сульфатов калия и натрия при постоянной температуре 37°C ($\text{pH} = 5 - 6$). Примесь вводили в виде $\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в концентрации 15 г/л. Для выращенных по известному способу кристаллов $\text{KNaSO}_4\text{:Cu}$ край поглощения расположен в области 365 – 380 нм ($E_g = 3,25 - 3,38 \text{ эВ}$), а основная полоса поглощения, используемая в качестве рабочей полосы адсорбционного детектора рентгеновского излучения, расположена в области 750 – 900 нм (с двумя максимумами при 824 и 848 нм). Однако известный способ разработан для получения кристаллов $\text{KNaSO}_4\text{:Cu}$ в качестве рабочих веществ только для абсорбционных детекторов рентгеновского излучения. О применении составов KNaSO_4 в качестве рабочего вещества термолуминесцентного дозиметра в упомянутом выше источнике ничего не говорится. Совершенно аналогичный способ получения кристаллов $\text{KNaSO}_4\text{:Cu}^{2+}$ для абсорбционного и ЭПР-детекторов, и не для ТЛД детектора описан в монографии К. Шаршеева (Шаршеев К. / Радиационные и примесные центры с переменной валентностью в кристаллах сложных сульфатов щелочных металлов. // Каракол-Екатеринбург: Исык-Кульский гос. университет ОАО «Полиграфист», 1999. 209 с). Способ изотермического испарения отличался от описанного выше только температурой раствора: не 37°C , а 35°C .

Известно рабочее вещество термолуминесцентного детектора (термолуминофора) на основе сульфата K_2SO_4 (Л.М. Ким, Т.Л. Куктаев, А.Х. Орозбаев./ Термостимулированная люминесценция сульфата калия. // Сб. тезисов докладов международной конф. по радиационной физике. Бишкек-Каракол. Исык-Кульский государственный университет, 1999. С.43). Кристаллы K_2SO_4 имеют пики ТСЛ при 170 – 175, 200 – 205, 218–220, 230 – 265, 310 – 340, 345 – 350 и 400 – 410К. Недостатками известного термолуминофора является наличие большого числа пиков ТСЛ, а также невысокий световыход ТСЛ кристаллов K_2SO_4 .

Известен сцинтилляционный состав и способ его получения на основе кристаллов, близких по стехиометрии к $\text{KNaSO}_4\text{:Li, Cu}$ (патент РФ №2370788. М.М. Кидибаев, К. Шаршеев, У.К. Мамытбеков, А.Н. Черепанов, Б.В. Шульгин. МПК G01T 1/20, 1/202, 3/06. Заявл. 02.06.2008, опублик. 20.10.2009. Бюл. №29). Для получения сцинтилляционного состава исходные ингредиенты, масс.%, Na_2SO_4 64,7-65,5, K_2SO_4 33,3-31,5, Li_2SO_4 $1 \pm 1,5$ и $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ $1,0 \pm 1,5$ растворяют в воде в соотношении 1:1. При этом образуется насыщенный водный раствор сульфатов, который нагревают до 38°C . Синтез кристаллов близких по стехиометрии к $\text{KNaSO}_4\text{:Li, Cu}$ ведут при этой же (38°C) температуре методом медленного изотермического испарения. Стехиометрия продукта, полученного по патенту РФ № 2370788 не определялась. Однако вышеописанный способ

применялся только для получения скинтилляторов, то-есть детекторов, работающих в on-line режиме. О рабочем веществе запоминающего термолюминесцентного детектора на основе K-Na-сульфата в известном патенте не упоминается.

Известен люминофор и способ его получения на основе кристаллов $\text{KNaSO}_4:\text{Me}$ ($\text{Me} = \text{Cu}, \text{Cr}$) (У.К. Мамытбеков, В.Ю. Иванов, Г.С. Денисов, К. Шаршеев, М.М. Кидибаев /Люминесценция кристаллов $\text{KNaSO}_4:\text{Me}$ ($\text{Me} = \text{Cu}, \text{Cr}$) при возбуждении синхротронным излучением // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: межвуз. сб. научн. тр. Екатеринбург: УГТУ-УПИ. 2008. Вып. 24. С.165 – 170). Кристаллы сульфатов, близкие по стехиометрии к KNaSO_4 , были выращены из насыщенного водного раствора сульфатов калия и натрия методом медленного изотермического испарения при постоянной температуре 42°C . Полученные таким способом кристаллы сульфатов, близкие по стехиометрии к KNaSO_4 , имеют полосы люминесценции при $\sim 2,9$ эВ (428 нм) и $\sim 6,5$ эВ (190 нм), полосы возбуждения при 7,0, 9,5 и 12 эВ и ширину запрещенной зоны $E_g \geq 9,5$ эВ. Однако термолюминесцентные свойства кристаллов, близких по стехиометрии к KNaSO_4 , в вышеупомянутой статье не описаны, точная стехиометрия полученных кристаллов не определялась, а K-Na-сульфат не представлен как рабочее вещество для термолюминесцентного детектора.

Наиболее близким к заявляемому по составу ингредиентов и способу синтеза является известный способ получения рабочего вещества термолюминесцентного детектора рентгеновского излучения на основе кристаллов, близких по стехиометрии к KNaSO_4 (М.М. Кидибаев, Г.С. Денисов, К. Шаршеев, О.И. Клименко, У.К. Мамытбеков. Термолюминесценция кристаллов KNaSO_4 . Известия НАН КР. 2007. №4. С.14-17). Кристаллы KNaSO_4 были выращены из насыщенного водного раствора сульфатов калия и натрия методом медленного изотермического испарения при температуре 38°C . Соотношение количества солей в 100 г растворителя составляло 66,7 г Na_2SO_4 и 33,3 г K_2SO_4 . Для стимуляции роста кристаллов KNaSO_4 в раствор добавляли несколько капель серной кислоты для получения pH = 4-6. Выращенные кристаллы имели дипирамидальную форму. Однако стехиометрия полученных кристаллов в известной публикации не определялась. После облучения в течение 1 часа выращенных кристаллов K-Na-сульфата рентгеновским излучением на установке УРС-70 рентгеновской трубкой 1БПВ1 с ванадиевым антикатодом ($U = 55$ кВ, $I = 10$ мА) были проведены измерения ТСЛ. Кривые ТСЛ кристаллов KNaSO_4 , полученных по известному способу, имеют одну полосу с максимумом при 322 К (49°C), которая состоит из двух подполос с максимумами при 317 К (44°C) и 327 К (54°C). Недостатками известного способа получения рабочего вещества ТЛД на основе Na-K-сульфата является низкая интенсивность и невысокая температура пика ТСЛ, что снижает чувствительность ТЛД и стабильность фединга.

Задачей изобретения является разработка состава двойного K-Na-сульфата, обладающего свойствами, позволяющими использовать его в качестве рабочего вещества термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения с повышенным световыходом и более высокотемпературным пиком термостимулированной люминесценции.

Поставленная задача решена путем разработки нового двойного K-Na-сульфата состава $\text{K}_{2-x}\text{Na}_x\text{SO}_4$, где $x = 0,4 \div 0,6$, в качестве рабочего вещества для термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения, обладающего более высоким световыходом ТСЛ, большей запасаемой светосуммой и более высокотемпературным пиком ТСЛ.

Поставленная задача решена также в способе получения двойного сульфата состава $\text{K}_{2-x}\text{Na}_x\text{SO}_4$, где $x = 0,4 \div 0,6$, включающем приготовление исходной смеси ингредиентов, содержащей, мас.% : K_2SO_4 33,2-33,6, Na_2SO_4 66,4-66,8, перемешивание указанных ингредиентов, растворение приготовленной смеси ингредиентов в воде в соотношении 1:1, последующее выращивание кристаллов состава $\text{K}_{2-x}\text{Na}_x\text{SO}_4$, где $x = 0,4 \div 0,6$, пу-

тем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора смеси сульфатов при $\text{pH} = 4 \pm 6$ при температуре $38,1 \pm 38,5$ °C при подсветке в течение суток светом красной лампы и дополнительную термохимическую обработку выращенных кристаллов путем нагрева кристаллов до температуры $150 - 160$ °C со скоростью $2,0 \pm 2,2$ °C/с, выдержке при этой температуре в течение 3-5 мин и последующего охлаждения в режиме естественного остывания кристаллов.

Сущность изобретения заключается в следующем. Предложен новый двойной К-Na-сульфат состава $\text{K}_{2-x}\text{Na}_x\text{SO}_4$, где $x = 0,4 \pm 0,6$, в качестве рабочего вещества термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения, предложен также и способ его получения. Предлагаемый способ включает в себе выполнение следующих процедур: приготовление исходной смеси ингредиентов, содержащей, мас. % : K_2SO_4 33,2-33,6, Na_2SO_4 66,4-66,8, перемешивание указанных ингредиентов смеси, растворение исходной смеси ингредиентов в воде в соотношении 1:1 и последующее выращивание кристаллов К-Na-сульфата путем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора сульфатов при $\text{pH} = 4 \pm 6$, причем синтез кристаллов ведут при температуре $38,1-38,5$ °C при подсветке в течение суток светом красной лампы, а полученные кристаллы состава $\text{K}_{2-x}\text{Na}_x\text{SO}_4$, где $x = 0,4-0,6$, подвергают дополнительной термохимической обработке: нагревают в атмосфере воздуха со скоростью $2,0 \pm 2,2$ °C/с до температуры $150 - 160$ °C, выдерживают при этой температуре в течение 3-5 минут и охлаждают до комнатной температуры в режиме естественного остывания кристаллов.

Полученный по новому предлагаемому способу К-Na-сульфат состава $\text{K}_{2-x}\text{Na}_x\text{SO}_4$, где $x = 0,5-0,6$, в качестве рабочего вещества для термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения обладает ТСЛ с повышенными техническими характеристиками: пик ТСЛ расположен при более высокой (~ 100 °C) температуре, а световыход ТСЛ увеличен в 1,5 – 1,75 раза. Спектр ТСЛ находится в пределах 410 – 440 нм. Эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}}$ полученного К-Na-сульфата, рассчитанный для комpton-эффекта и фотоэффекта, не ниже 14,2.

Улучшение технических характеристик рабочего вещества для термолюминесцентного детектора обеспечено выбором оптимальной температуры синтеза и за счет дополнительной термохимической обработки кристаллов $\text{K}_{2-x}\text{Na}_x\text{SO}_4$, приводящей к освобождению кристаллов от молекул структурно-несвязанной воды, присутствующих в кристаллах, выращиваемых из водных растворов. Предлагаемый способ обеспечивает стабилизацию фединга за счет повышения температуры пика ТСЛ и удаления с помощью термообработки структурно-несвязанной воды. Предлагаемая термохимическая обработка рабочего вещества термолюминесцентного детектора является достаточно эффективной. Это будет показано на конкретных примерах ниже. Несмотря на свою относительную простоту она обеспечивает повышение световыхода ТСЛ для детекторов состава $\text{K}_{2-x}\text{Na}_x\text{SO}_4$, где $x = 0,4-0,6$, в полтора-два раза, повышение чувствительности ТЛД-детектора и стабилизацию фединга.

Предлагаемое техническое решение иллюстрируется следующими примерами.

Пример 1. Готовят смесь исходных ингредиентов, взятых в следующем соотношении: K_2SO_4 33,6 г. (33,6 мас.%) Na_2SO_4 66,4 г. (66,4 мас.%). Проводят тщательное перемешивание указанных ингредиентов смеси, растворение исходной смеси ингредиентов в воде в соотношении 1:1 и последующее выращивание кристаллов К-Na-сульфата путем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора сульфатов при $\text{pH} = 4$. Далее ведут синтез кристаллов при температуре $38,1$ °C при подсветке раствора в течение суток светом красной лампы. Процесс выращивания кристаллов $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$ размером 12-15 мм занимает не менее месяца. (Подсветка красной лампой нужна для снижения времени синтеза за счет ускоренного формирования первичного зародыша кристалла). Выращенные кристаллы подвергают химическому анализу, что позволяет

определить химическую формулу их состава как $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$. На последней стадии приготовления рабочих веществ для ТЛД полученные кристаллы $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$, подвергают дополнительной термохимической обработке: нагревают в атмосфере воздуха со скоростью $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдерживают при этой температуре в течение 3 минут и охлаждают до комнатной температуры в режиме естественного остывания кристаллов.

Проведенный химический анализ выращенных кристаллов двойного сульфата позволил не только установить химическую формулу полученного двойного сульфата $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$, но и определить содержание основных примесей, мас. % : Fe 6,49 E-02, Mg 2,01 E-02, Al 1,17 E-02, Cu 2,05 E-02, Sr 1,8 E-03, Ni 9,47 E-04 и Mn 1,56 E-04. Несмотря на наличие указанных примесей, полученные образцы рабочего вещества ТЛД на основе $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$, обладают весьма большой запасенной светосуммой, что проявляется в виде интенсивного рабочего пика ТСЛ.

Кривые ТСЛ измеряли для изготовленных в виде ТЛД-таблеток размером $5 \times 5 \times 1\text{ мм}$ образцов двойного K-Na-сульфата $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$. Образцы облучали рентгеновским излучением (рентгеновская трубка Eclipse IV Lab Rh. Oxford Instruments, 40 кВ, 20 мА, Rh-антикатод) в течение 1 минуты. Поглощенная доза в месте расположения образцов составляла величину около 1 Гр. Измерения ТСЛ проводили по стандартной методике. В качестве приемного устройства использовали фотоэлектронный умножитель ФЭУ-142, спектральная чувствительность которого хорошо согласуется со спектром ТСЛ предложенных рабочих веществ для термолуминесцентной дозиметрии. На Фиг 1 приведены кривые ТСЛ предлагаемого рабочего вещества на основе $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$. Они имеют интенсивный максимум, расположенный при $T_m = \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данные соответствуют образцам, прошедшим термохимическую обработку. Зависимость накапливаемой светосуммы от температуры синтеза образцов приведена на Фиг. 2 для трех температур синтеза: 36, 38,1 и $42\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данные получены для образцов состава $K_{2-x}Na_xSO_4$, где $x = 0,4-0,6$, также прошедшим термохимическую обработку. Роль термообработки оказывается весьма существенной. Так, например, для случая температуры синтеза $38,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ накопленные светосуммы в прошедших и не прошедших термохимическую обработку образцах $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$ соотносятся как 1,57 : 1. Аналогичные результаты получены и в случае регистрации гамма-излучения при использовании изотопов ^{241}Am , ^{144}Ce или ^{137}Cs .

Сравнительные испытания показали, что полученное по предлагаемому способу рабочее вещество для термолуминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения на основе кристалла двойного K-Na-сульфата состава $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$, выращенного путем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора сульфатов при $pH = 4$ при температуре $38,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, обладает настолько эффективной ТСЛ, что по интенсивности рабочего пика ТСЛ (при пересчете на единицу массы термолуминофора) не уступает такому известному рабочему веществу ТЛД как ТЛД 500 К (ТУ 2655-006-02069208-95).

Пример 2. Готовят смесь исходных ингредиентов, взятых в следующем соотношении: K_2SO_4 33,2 г. (33,2 мас.%) Na_2SO_4 66,8 г. (66,8 мас.%). Проводят тщательное перемешивание указанных ингредиентов смеси, растворение исходной смеси ингредиентов в воде в соотношении 1:1 и последующее выращивание кристаллов K-Na-сульфата путем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора сульфатов при $pH = 4$. Далее ведут синтез кристаллов при температуре $38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при подсветке в течение суток светом красной лампы, полученные кристаллы подвергают химическому анализу, что позволяет определить химическую формулу их состава как $K_{1,4}Na_{0,6}SO_4$, далее полученные кристаллы $K_{1,4}Na_{0,6}SO_4$, подвергают дополнительной термохимической обработке: нагревают в атмосфере воздуха со скоростью $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, вы-

держивают при этой температуре в течение 5 минут и охлаждают до комнатной температуры в режиме естественного остывания кристаллов. Процесс выращивания кристаллов $K_{1,4}Na_{0,6}SO_4$ размером 12-15 мм занимает не менее месяца. Выращенные кристаллы подвергают химическому анализу и определяют химическую формулу их состава как $K_{1,4}Na_{0,6}SO_4$.

Последняя стадия приготовления рабочих веществ для ТЛД состоит в том, что полученные кристаллы $K_{1,4}Na_{0,6}SO_4$ подвергают дополнительной термохимической обработке: нагревают в атмосфере воздуха со скоростью $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдерживают при этой температуре в течение 3 минут и охлаждают до комнатной температуры в режиме естественного остывания кристаллов.

Проведенный химический анализ выращенных кристаллов двойного сульфата позволил не только установить химическую формулу полученного двойного сульфата как $K_{1,4}Na_{0,6}SO_4$, но и определить наличие основных примесей. Содержание примесей оказалось примерно таким же, как в примере 1. Несмотря на наличие указанных примесей полученные образцы $K_{1,4}Na_{0,6}SO_4$, обладают весьма эффективной ТСЛ. Вид кривых ТСЛ для этих образцов, приготовленных в виде ТЛД-таблеток размерами $5\times 5\times 1\text{ мм}$, такой же, (основной пик ТСЛ расположен при $\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), как для кристаллов двойного сульфата $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$, выращенного при температуре $38,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, Фиг. 1. (Условия измерения такие же, как и в Примере 1)

Пример 3. Готовят смесь исходных ингредиентов, взятых в следующем соотношении: K_2SO_4 33,4 г. (33,4 мас.%) Na_2SO_4 66,6 г. (66,6 мас.%). Проводят тщательное перемешивание указанных ингредиентов смеси, растворение исходной смеси ингредиентов в воде в соотношении 1:1 и последующее выращивание кристаллов К-Na-сульфата путем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора сульфатов при $\text{pH} = 4$. Выращивание кристаллов ведут при температуре $38,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ при подсветке в течение суток светом красной лампы. Полученные кристаллы подвергают химическому анализу, что позволяет определить химическую формулу их состава как $K_{1,6}Na_{0,4}SO_4$, далее полученные кристаллы $K_{1,6}Na_{0,4}SO_4$, подвергают дополнительной термохимической обработке: нагревают в атмосфере воздуха со скоростью $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдерживают при этой температуре в течение 4 минут и охлаждают до комнатной температуры в режиме естественного остывания кристаллов. Вид кривых ТСЛ для состава $K_{1,6}Na_{0,4}SO_4$, такой же, как на фигуре Фиг. 1. Выращенные кристаллы подвергают химическому анализу, что позволяет определить химическую формулу их состава как $K_{1,6}Na_{0,4}SO_4$. Процесс выращивания кристаллов $K_{1,6}Na_{0,4}SO_4$ размером 12-15 мм занимает не менее месяца.

Последняя стадия приготовления рабочих веществ для ТЛД состоит в том, что полученные кристаллы $K_{1,6}Na_{0,4}SO_4$ подвергают дополнительной термохимической обработке: нагревают в атмосфере воздуха со скоростью $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдерживают при этой температуре в течение 3 минут и охлаждают до комнатной температуры в режиме естественного остывания кристаллов.

Проведенный химический анализ выращенных кристаллов двойного сульфата позволил не только установить химическую формулу полученного двойного сульфата $K_{1,6}Na_{0,4}SO_4$, но и определить наличие основных примесей. Содержание примесей оказалось примерно таким же, как в примере 1. Несмотря на наличие указанных примесей полученные образцы $K_{1,6}Na_{0,4}SO_4$, изготовленные в виде ТЛД-таблеток, обладают достаточно эффективной ТСЛ. Вид кривых ТСЛ для этих образцов, приготовленных в виде ТЛД-таблеток размерами $5\times 5\times 1\text{ мм}$, такой же, (основной пик ТСЛ расположен при $\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), как для кристаллов двойного сульфата $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$, выращенного при температуре $38,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, Фиг. 1. Состав характеризуется такой же большой запасенной светосум-

мой в пике ТСЛ при $\sim 100^{\circ}\text{C}$, как и состав $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$, выращенный при температуре $38,1^{\circ}\text{C}$. (Условия измерений, результаты которых приведены в Примере 3 такие же, как и в Примере 1).

Пример 4. Готовят смесь исходных ингредиентов, взятых в следующем соотношении: K_2SO_4 33,6 г. (33,6 мас.%) Na_2SO_4 66,4 г. (66,4 мас.%), то-есть как и в Примере 1. Проводят перемешивание указанных ингредиентов смеси, растворение исходной смеси ингредиентов в воде в соотношении 1:1 и последующее выращивание кристаллов К-На-сульфата путем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора сульфатов при $\text{pH} = 4$, при температуре 36°C при подсветке в течение суток светом красной лампы. Полученные кристаллы подвергают химическому анализу, что позволяет определить химическую формулу их состава как $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$. Процесс выращивания кристаллов $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$ размерами 12-15 мм занимает не менее месяца.

На последней стадии приготовления рабочих веществ для ТЛД полученные кристаллы $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$, подвергают дополнительной термохимической обработке: нагревают в атмосфере воздуха со скоростью $2,0^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры 150°C , выдерживают при этой температуре в течение 3 минут и охлаждают до комнатной температуры в режиме естественного остывания кристаллов. Кривая ТСЛ для рабочих веществ ТЛД рентгеновского и гамма-излучения на основе кристаллов со стехиометрией $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$, выращенных при температуре 36°C и изготовленных в виде ТЛД-таблеток размерами $5 \times 5 \times 1$ мм, приведена на Фиг. 1. (Условия измерения, как и в Примере 1). Как видно из Фиг. 1, интенсивность рабочего пика ТСЛ ($T_m = 87^{\circ}\text{C}$) для состава, выращенного при 36°C более, чем в 2 раза ниже, чем у состава с аналогичной стехиометрией, но выращенного при оптимальной температуре $38,1 - 38,5^{\circ}\text{C}$. Понижение температуры синтеза приводит к снижению запасенной светосуммы более, чем в 2 раза, Фиг. 2. Роль термообработки также оказывается весьма существенной. Для температуры синтеза 36°C накопленные светосуммы в прошедших и не прошедших термохимическую обработку образцах $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$ соотносятся как 2,03 : 1.

Пример 5. Готовят смесь исходных ингредиентов, взятых в следующем соотношении: K_2SO_4 33,6 г. (33,6 мас.%) Na_2SO_4 66,4 г. (66,4 мас.%), то есть при том же соотношении ингредиентов, что и в Примере 1. Проводят перемешивание указанных ингредиентов смеси, растворение исходной смеси ингредиентов в воде в соотношении 1:1 и последующее выращивание кристаллов К-На-сульфата путем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора сульфатов при $\text{pH} = 4$, при температуре 42°C при подсветке в течение суток светом красной лампы. Полученные кристаллы подвергают химическому анализу, что позволяет определить химическую формулу их состава как $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$. Процесс выращивания кристаллов $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$ размером 12-15 мм при температуре 42°C также занимает не менее месяца.

На последней стадии приготовления рабочих веществ для ТЛД выращенные кристаллы $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$, подвергают дополнительной термохимической обработке: нагревают в атмосфере воздуха со скоростью $2,0^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температуры 150°C , выдерживают при этой температуре в течение 3 минут и охлаждают до комнатной температуры в режиме естественного остывания кристаллов. Кривая ТСЛ для рабочих веществ ТЛД рентгеновского и гамма-излучения на основе кристаллов со стехиометрией $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$, выращенных при температуре 42°C и используемых в виде таблеток размерами $5 \times 5 \times 1$ мм приведена на Фиг. 1. (Условия измерения такие же, как и в Примере 1). Как видно из Фиг. 1, интенсивность рабочего пика ТСЛ ($T_m = 77^{\circ}\text{C}$) для этого состава почти в 10 раз ниже, чем у состава с аналогичной стехиометрией, но выращенного при оптимальной температуре $38,1 - 38,5^{\circ}\text{C}$. Повышение температуры синтеза кристаллов со стехиометрией $\text{K}_{1,5}\text{Na}_{0,5}\text{SO}_4$ до температуры 42°C приводит к существенному снижению запасен-

ной светосуммы., Фиг. 2. Повышение температуры синтеза вызывает аналогичный эффект для рабочих веществ ТЛД на основе К-Na-сульфатов с другим соотношением элементов, с другой стехиометрией в конечных продуктах синтеза. Роль термообработки для образцов, выращенных при температуре 42 °С также оказывается весьма существенной. Для температуры синтеза 42 °С накопленные светосуммы в прошедших и не прошедших термохимическую обработку кристаллических образцах $K_{1,5}Na_{0,5}SO_4$ соотносятся как 1,9 : 1.

Предложенный двойной К-Na-сульфат состава $K_{2-x}Na_xSO_4$, где $x = 0,4 \div 0,6$, в качестве рабочего вещества термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения и предложенный способ его получения отвечают требованиям новизны, технической полезности и промышленной применимости.

Формула изобретения

1. Двойной К-Na-сульфат состава $K_{2-x}Na_xSO_4$, где $x = 0,4 \div 0,6$, в качестве рабочего вещества термолюминесцентного детектора рентгеновского и гамма-излучения.

2. Способ получения двойного К-Na-сульфата состава $K_{2-x}Na_xSO_4$, где $x = 0,4 \div 0,6$, включающий приготовление исходной смеси ингредиентов, содержащей, мас. % : K_2SO_4 33,2-33,6, Na_2SO_4 66,4-66,8, перемешивание указанных ингредиентов смеси, растворение исходной смеси ингредиентов в воде в соотношении 1:1 и последующее выращивание кристаллов путем медленного изотермического испарения насыщенного водного раствора сульфатов при $pH = 4 \div 6$, причем синтез кристаллов К-Na-сульфата ведут при температуре 38,1-38,5 °С при подсветке раствора в течение суток светом красной лампы, а полученные кристаллы состава $K_{2-x}Na_xSO_4$, где $x = 0,4 \div 0,6$, подвергают дополнительной термохимической обработке: нагревают в атмосфере воздуха со скоростью $2,1 \div 2,2$ °С/с до температуры 150 – 160 °С, выдерживают при этой температуре в течение 3 ÷ 5 минут и охлаждают до комнатной температуры в режиме естественного остывания кристаллов.

Патент № 2449316 РФ. Рабочее вещество для термоэкоэлектронной дозиметрии / А.И. Слесарев, Б.В. Шульгин, А.Ю. Дерстуганов, М.Н. Благовещенский, О.Н. Шутов. Заявл. 04.06.2010. Опубл. 27.04.2012. Бюл. № 34.

Реферат

Применение: для дозиметрии электронного излучения. Сущность: состав, ат. %: SrF_2 99,5 – 99,8; TbF_3 0,1–0,2; DyF_3 0,1–0,3. Технический результат: повышение выхода термоэкоэлектронной эмиссии.

Описание изобретения

Изобретение относится к области дозиметрии электронного излучения и может быть пригодно для персональной дозиметрии операторов, обслуживающих комплексы радиационного контроля при мониторинге территорий, акваторий и зон захоронения радиоактивных отходов, а также для лиц, работающих с излучением в медицинских радиологических центрах и в лабораториях ускорительной техники.

Известно рабочее вещество для термоэкоэлектронной (ТЭЭ) дозиметрии рентгеновского излучения (А. с. 723470 СССР) на основе ванадата кальция $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2$. Рабочее вещество на основе ванадата кальция имеет пики термостимулированной экоэлектронной эмиссии (ТСЭЭ) при 497–507 °С. Оно обеспечивает измерение доз рентгеновского излучения до 10^5 Гр (10^7 рад). Однако известное рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии имеет рабочие пики термостимулированной экоэлектронной эмиссии ТСЭЭ, расположенные при весьма высокой температуре ~500 °С, что увеличивает время съема дозиметрической информации и предъявляет очень высокие требования к надежности ТЭЭ-дозиметрической аппаратуры и кроме того, известное рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии не применялось для регистрации электронного излучения.

Известно рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии для регистрации электронного излучения на основе LiF (Kramer J., Angew J. // Phys. 1966. Bd. 20. № 5. P. 411.; Слесарев А. И. [и др.] // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26, вып. 9. С. 60 – 64). Оно имеет пик ТСЭЭ при 210 °С по Крамеру, а по Слесареву при 90, 126, 148, 270, 337 и 464 °С. Оно пригодно для индивидуальной дозиметрии, поскольку $Z_{\text{эф}}$ фторида лития близок к $Z_{\text{эф}}$ биологической ткани. Однако интенсивность пиков ТСЭЭ рабочего вещества на основе LiF и соответственно чувствительность ТЭЭ детектора на его основе невысока.

Известно рабочее вещество для термоэкоэлектронной дозиметрии электронного излучения на основе объемных, волоконных и наноразмерных кристаллов NaF (А.Н. Черепанов, В.Ю. Иванов, Т.С. Королева, Б.В. Шульгин. Люминесценция объемных, волоконных и наноразмерных кристаллов LiF и NaF. Екатеринбург. ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 304 с). Однако известное рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии на основе NaF имеет множество пиков ТСЭЭ в области от 80 до 430 °С, что затрудняет выбор оптимального рабочего пика ТСЭЭ, имеет недостаточно высокий выход термоэкоэлектронной эмиссии, а также недостаточно широкий диапазон линейной зависимости выхода термоэкоэлектронной эмиссии от флюенсов электронов, который составляет $10^8 - 10^{12}$ см⁻².

Известно рабочее вещество для термоэкоэлектронной дозиметрии гамма- и электронного излучений на основе нитрида алюминия с добавкой оксида иттрия при следующем соотношении компонентов: (объемные %): AlN 97–98; Y_2O_3 2 – 3. (Слесарев А.И., Шульгин Б.В. Патент RU 2282212 МПК G01T 1/20, 3/06. Заявл. 04.05.2005, опубл. 20.08.2008. Бюл. №23). Позиции пиков ТСЭЭ и их интенсивность приведены в табл. 1. Недостатком известного рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии на основе нитрида алюминия является низкая интенсивность основного рабочего пика ТСЭЭ – 3100 имп/сек (таблица 1) и соответственно невысокий выход термоэкоэлектронной эмиссии,

и как следствие, невысокая чувствительность ТЭЭ детектора на основе такого рабочего вещества. Кроме того, линейный диапазон флюенсов электронов, измеряемых с помощью известного рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии на основе нитрида алюминия, невелик, - он составляет 10^8 - 10^{12} см⁻².

Таблица 1

Характеристики рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии, имеющего состав, об. %: AlN – 98, Y₂O₃ – 2

T _м , °C	I _{тээ} , имп/сек	E, эВ
282	1070	1,725
174	500	1,724
151,4	1640	1,222
107,9	3100	1,124
78,5	1725	0,756

Известно рабочее вещество для термоэлектронной дозиметрии электронного излучения (Слесарев А.И., Иванов В.Ю., Ищенко А.В., Черепанов А.Н., Шульгин Б.В., Чепкасова А.В., Кобаяши М. Патент RU 2331086 МПК G01T 1/20, 3/06. Заявл. 09.04.2007, опубл. 10.08.2008. Бюл. №22), которое имеет состав (мол. %): Gd₂SiO₅ – 97,0 – 99,9; Ce₂O₃ – 0,1-0,3. Основной рабочий пик ТЭЭ рабочего вещества для термоэлектронной дозиметрии электронных пучков с флюенсом от 10¹⁰ до 10¹³ см⁻² находится при температуре 48 °С, табл. 2. При флюенсах 10¹³-10¹⁵ см⁻² основной рабочий пик ТЭЭ имеет более высокую интенсивность и смещается в область температур 75 – 79°С. Однако даже при высоком флюенсе 10¹⁴ см⁻² интенсивность пиков ТСЭЭ, I_{тээ}, невысока, и как видно из табл. 2, она не превышает 9500 имп/с. То-есть известное рабочее вещество обладает недостаточно высоким выходом термоэлектронной эмиссии в пиках ТСЭЭ, поэтому ТЭЭ детектор электронного излучения, создаваемый на базе кристаллов Gd₂SiO₅ - Ce обладает невысокой чувствительностью.

Таблица 2

Характеристики рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии на основе Gd₂SiO₅ – Ce

Флюенс электронов 10 ¹³ см ⁻²		Флюенс электронов 10 ¹⁴ см ⁻²	
T _м , °C	I _{тээ} , имп/сек	T _м , °C	I _{тээ} , имп/сек
48	8000	55	7650
75 – 79	4000	75 – 79	9500
120	2300	120	2100
—	—	155	4000

Из всех известных рабочих веществ для ТЭЭ дозиметрии наиболее близким по составу к заявляемому является рабочее вещество на основе фторида стронция SrF₂:Tb (Слесарев А.И., Дерстуганов А.Ю. Термостимулированная экзoeлектронная эмиссия кристаллов SrF₂ и SrF₂:Tb // Межвузовский сборник научных трудов «Проблемы спектроскопии и спектрометрии» УГТУ-УПИ, 2010, вып. 26. с.177-179). Параметры пиков ТСЭЭ для кристаллов SrF₂:Tb, облученных импульсным пучком электронов (флюенс 10¹² см⁻²), полученные при нагреве образцов со скоростью 0,3 К/с, приведены в табл. 3. Как видно из табл. 3, наиболее интенсивные пики ТСЭЭ для кристаллов SrF₂:Tb находятся при 115 °С и 93 °С. Более высокий выход экзoeлектронной эмиссии, - на уровне 4,215*10⁴ имп/с, наблюдается для рабочего пика ТСЭЭ при 93 °С. Однако известное рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии на основе кристаллов SrF₂:Tb в сравнении с рядом других рабочих веществ имеет невысокую интенсивность рабочего пика ТСЭЭ. Она не превышает 4,2*10⁴ имп/с, то есть известное рабочее вещество для ТЭЭ дозиметрии обла-

дает недостаточно высоким выходом термоэкзоэлектронной эмиссии в пиках ТСЭЭ и чувствительность ТЭЭ детектора на основе известного рабочего вещества невысока.

Таблица 3

Характеристики рабочего вещества для ТЭЭ дозиметрии
на основе кристаллов $\text{SrF}_2:\text{Tb}$

Кристалл	Номер пика	$T_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{ТЭЭ}},$ имп/сек
$\text{SrF}_2:\text{Tb}$	I	56	2439
	II	93	42146
	III	216	3377

Задачей настоящего изобретения является разработка такого рабочего вещества для термоэкзоэлектронной дозиметрии электронных пучков, которое обладает более высоким выходом термоэкзоэлектронной эмиссии в рабочих пиках ТЭЭ и расширенным диапазоном линейной зависимости выхода термоэкзоэлектронной эмиссии от флюенса электронов. Это достигается за счет того, что в известный состав, включающий $\text{SrF}_2\text{-TbF}_3$, дополнительно вводят DyF_3 . Сущность изобретения заключается в том, что рабочее вещество для термоэкзоэлектронной дозиметрии электронного излучения на основе фторида стронция с добавкой фторида тербия, дополнительно содержит фторид диспрозия и имеет состав (ат.%): $\text{SrF}_2 - 99,5 - 99,8$; $\text{TbF}_3 - 0,1-0,2$; $\text{DyF}_3 - 0,1-0,3$.

Одновременная активация фторида стронция ионами редкоземельных элементов TbF_3 и DyF_3 обеспечивает расширение диапазона линейной зависимости выхода термоэкзоэлектронной эмиссии от флюенса электронов, а также увеличение интенсивности термостимулированной экзоэлектронной эмиссии в 2,8-3,3 раза по сравнению с известным составом $\text{SrF}_2:\text{Tb}$ в связи с увеличением концентрации экзоэлектронов, накопленных на уровнях захвата после облучения образцов электронным пучком. Пара ионов Tb-Dy образует в кристаллах $\text{SrF}_2:\text{Tb,Dy}$ более глубокие и более емкие уровни захвата электронов, нежели ионы Tb в кристаллах $\text{SrF}_2:\text{TbF}_3$, то есть пара Tb-Dy отличается большей способностью для накопления экзоэлектронов.

Пример 1. Рабочее вещество для термоэкзоэлектронной дозиметрии электронов имеет состав (ат. %): SrF_2 99,8; TbF_3 0,1; DyF_3 0,1. Измерения кривых ТСЭЭ выполнены в УГТУ-УПИ на автоматизированном экзоэмиссионном спектрометре в вакууме $\sim 10^{-5}$ Па. Экспериментальная установка имеет вычислительную управляющую систему, содержащую пакеты программ управления и обработки экспериментальных данных.

Измерительный тракт экзоэмиссионного спектрометра включает в себя систему возбуждения, состоящую из электронной пушки (энергия электронов – 150 кэВ; плотность тока – 150 А/см²; длительность импульса 10 нс; флюенс электронов за один импульс без диафрагмирования электронного пучка – 10^{12} см⁻² (система специальных диафрагм обеспечивает получение электронных пучков с дробными флюенсами от 10^8 до 10^{12} см⁻²), систему термостимуляции, обеспечивающую линейный нагрев образцов в диапазоне 300 – 800 К со скоростью 0,1-1,0 °С/с и термостатирование.

Кристаллы $\text{SrF}_2:\text{Tb,Dy}$ облучали импульсными пучками электронов (флюенс в пределах $10^8\text{-}10^{14}$ см⁻²). После облучения образцы нагревали в диапазоне температур 20 – 250 °С со скоростью 0,3 °С/с и измеряли кривые ТСЭЭ. На Фиг. 1 приведены кривые ТСЭЭ кристаллов $\text{SrF}_2:\text{Tb,Dy}$. Кривая ТСЭЭ с общим максимумом при 105 °С после ее предварительного сглаживания разложена на 2 элементарные полосы с максимумами при 103 и 130 °С. Им соответствуют уровни захвата (ловушки) с энергиями при 1,3 и 1,7 эВ. Как видно из Фиг. 1, для кристаллов $\text{SrF}_2:\text{Tb,Dy}$ наблюдается ТСЭЭ ($1,35 \cdot 10^5$, имп/с) в 2,8 – 3,2 раза более интенсивная, нежели у известного рабочего веще-

ства для ТЭЭ дозиметрии на основе кристаллов $\text{SrF}_2\text{-Tb}$, данные для которого были приведены в табл. 3.

Дозовая зависимость выхода экзэмиссии для образца, имеющего состав (ат. %): SrF_2 99,8; TbF_3 0,1; DyF_3 0,1, приведена на Фиг. 2. Как видно из Фиг. 2, для рабочего вещества для термоэкзоэлектронной дозиметрии электронного излучения на основе фторида стронция, допированного одновременно тербием и диспрозием (с указанными выше концентрациями), диапазон линейной зависимости выхода термоэкзоэлектронной эмиссии от флюенса электронов находится в пределах: $10^8 - 10^{14} \text{ см}^{-2}$ с небольшими отклонениями от линейности в диапазоне $10^{13,6} - 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

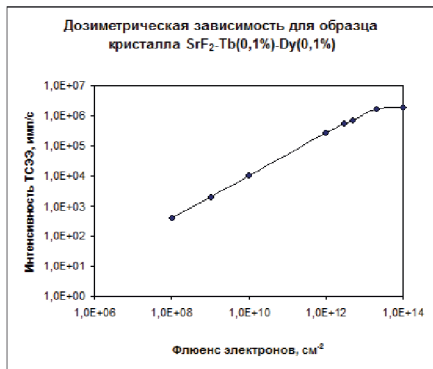
Пример 2. Рабочее вещество для термоэкзоэлектронной дозиметрии электронов имеет состав (ат. %): SrF_2 99,6; TbF_3 0,2; DyF_3 0,2. Вид кривой ТСЭЭ для этого состава практически такой же, как на Фиг. 1, наблюдается незначительное смещение максимумов подполос ТСЭЭ. Интенсивность термоэкзоэлектронной эмиссии для указанного состава не уступает таковой для состава, описанного в первом примере. Дозовая зависимость выхода экзэмиссии для образца, имеющего состав (ат. %): SrF_2 99,6; TbF_3 0,2; DyF_3 0,2, такая же, как и в первом примере, Фиг. 2.

Уменьшение содержания соактиватора DyF_3 до уровня ниже 0,1 ат. % или его увеличение выше 0,3 ат. % ведет к уменьшению выхода термоэкзоэлектронной эмиссии и снижению чувствительности ТЭЭ детектора от 20 – 25 % до 30 – 40 % и более. Диапазон линейной зависимости выхода термоэкзоэлектронной эмиссии от флюенса электронов для состава, приведенного в Примере 2, также находится в пределах: $10^8 - 10^{14} \text{ см}^{-2}$ с небольшими отклонениями от линейности в диапазоне $10^{13,6} - 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

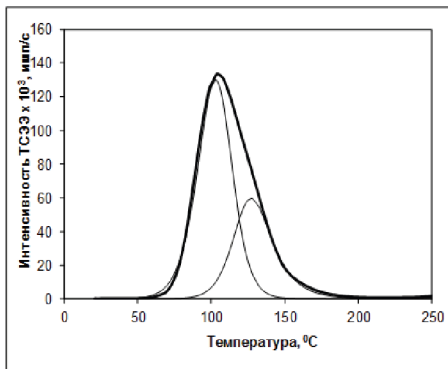
Дополнительным преимуществом предлагаемого рабочего вещества для термоэкзоэлектронной дозиметрии электронного излучения на основе кристаллов фторида стронция с добавками фторидов редкоземельных элементов: $\text{SrF}_2\text{-TbF}_3\text{-DyF}_3$ является возможность их использования для дозиметрии гамма-излучения, а также возможность использования в качестве рабочих веществ и для термолюминесцентной дозиметрии электронного и гамма-излучения.

Формула изобретения

Рабочее вещество для термоэкзоэлектронной дозиметрии импульсного электронного излучения на основе фторида стронция с добавкой фторида тербия, отличающееся тем, что оно дополнительно содержит фторид диспрозия при следующем соотношении ингредиентов, ат. %: SrF_2 99,5 – 99,8; TbF_3 0,1-0,2; DyF_3 0,1-0,3.



Фиг. 1



Фиг. 2

Заявка 2010123257 РФ. Зонд для сканирующей микроскопии / М. А. Мельников, С. В. Кортон, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, И. А. Гофман. Заявл. 07.06.2010.

Реферат

Применение: для создания зондов атомно-силовых, туннельных и конфокальных микроскопов. Сущность изобретения: Зонд для сканирующей микроскопии содержит основу зонда и прикрепленную к ней иглу, выполненную из монокристаллического нановолокна нитрида алюминия диаметром от нескольких десятков нанометров, на боковую поверхность которого нанесено металлическое напыление. Технический результат: возможность применения зонда как в атомно-силовой, туннельной и конфокальной микроскопии

Описание изобретения

Изобретение относится к области зондовой сканирующей микроскопии и может быть использовано при создании зондов для атомно-силовых, туннельных и конфокальных микроскопов.

Основное требование, предъявляемое к зондам сканирующих микроскопов, – это малая толщина зондирующей иглы. При этом иглы зондов атомно-силовых микроскопов должны отличаться также высокой механической прочностью, иглы зондов туннельной микроскопии – электропроводностью, а иглы зондов конфокальных микроскопов – прозрачностью для зондирующего света. Наибольшее распространение в атомно-силовой микроскопии получили иглы зондов, выполненные из керамических и поликристаллических материалов. Однако данные материалы, как правило, не отличаются электропроводностью и высокой прозрачностью и не могут эффективно использоваться в качестве материалов для игл зондов туннельных и конфокальных микроскопов. Иглы зондов туннельных микроскопов обычно выполняют из металлических проволочек, не пропускающих свет и потому не пригодных для конфокальной микроскопии. Иглы зондов конфокальных микроскопов обычно выполняют из различных стекол, которые при своей прозрачности не имеют достаточно высокой прочности и не отличаются электропроводностью. Таким образом, существует проблема создания эффективных игл зондов, отличающихся одновременно и высокими механическими показателями (прочностью), и высокой электропроводностью, и высокой прозрачностью. Решение этой задачи – основная цель предлагаемого изобретения. Один из возможных методов решения подобной задачи – это использование новых типов материалов – монокристаллических нановолокон или кристалловолокон, отличающихся как высокой прозрачностью (характерной для идеальных кристаллов), так и высокой механической прочностью, приближающейся к теоретическому пределу (в десятки раз выше, чем у обычных кристаллов за счет практически полного отсутствия дефектов). Подробное описание особенностей получения кристалловолокон и обобщение мирового опыта изучения их свойств представлен в работе (Выращивание кристалловолокон из расплава / Под ред. Т. Фукуда, П. Рудольф, С. Уда / Пер. с англ. А. Н. Черепанова и А. В. Ищенко под ред. и с предисл. д-ра физ.-мат. наук проф. Б. В. Шульгина. – М.: Физматлит, 2009. 368 с.). Рассмотрим аналоги и прототип предлагаемого изобретения:

Известен зонд для сканирующей микроскопии (Свид-во на полезную модель №35579 РФ, МПК7 G12B21/02), содержащий основу зонда и образованные на его острие иглы в количестве от 1 до 50 штук с диаметром у основания от 10 до 30 нм, длиной от 10 до 300 нм и радиусом кривизны острия игл 0,7-2 нм из материала, имеющего поликристаллическую структуру. Известный зонд выполняют из алмаза или алмазоподобного материала, или кремния, или бора, или металла. Однако известный зонд пригоден только для атомно-силовой микроскопии и не может быть использован для туннельной микро-

скопии (из-за применения диэлектрических материалов) и для конфокальной микроскопии по причине того, что материал его игл имеет поликристаллическую структуру, обладающую плохой прозрачностью для света.

Известен зонд для сканирующей микроскопии (Пат. 2297054 РФ, МПК⁷ G12B21/00) на основе кварцевого резонатора, содержащий кварцевый резонатор с первым и вторым плечами, на которых закреплены соответственно первая и вторая иглы, которые закреплены в пазах плеч кварцевого резонатора. Существуют варианты, в которых пазы выполняют непосредственно в плечах кварцевого резонатора или слоях клея, полимеризованного на каждом плече. Возможны также варианты, в которых существует механическая связь между иглами или плечами. Однако известный зонд непригоден для использования в качестве зонда в туннельных и конфокальных микроскопах.

Известен зонд для сканирующей микроскопии (Пат. 2289862 РФ, МПК⁷ G12B21/02), состоящий из консоли с укрепленной на одном ее конце иглой, закрепленной на чипе другой стороной. Известный зонд имеет проводящий слой на поверхности зонда со стороны иглы и пригоден для проведения измерений в режиме атомно-силового и туннельного микроскопа. Однако известный зонд непригоден для использования в качестве зонда в конфокальных микроскопах.

Наиболее близким к заявляемому является зонд для сканирующей микроскопии (Пат. 2266574 РФ, МПК⁷ G12B21/02), содержащий от 1 до 50 игл. Диаметр у основания от 10 до 30 нм. Длина от 10 до 300 нм. Радиус кривизны острия иглы 0,7-2 нм. Иглы образованы из материала, имеющего поликристаллическую структуру. Однако известный зонд пригоден только для атомно-силовой микроскопии и не может быть использован для туннельной микроскопии (из-за применения диэлектрических материалов) и для конфокальной микроскопии по причине того, что материал его игл имеет поликристаллическую структуру, обладающую плохой прозрачностью для света.

Задачей изобретения является создание зонда для сканирующей микроскопии, содержащего иглу, отличающуюся и высокой механической прочностью, и высокой электропроводностью и высокой прозрачностью. Подобный зонд будет пригоден как для атомно-силовых, так и для туннельных и конфокальных микроскопов.

Задача решается за счет использования в качестве материала иглы зонда монокристаллического нановолокна нитрида алюминия, отличающихся высокой механической прочностью и прозрачностью в видимой области спектра, на боковую поверхность которого нанесено тонкое металлическое напыление.

Предлагаемый зонд для сканирующей микроскопии содержит основу зонда, прикрепленную к ней одну иглу, диаметром от нескольких десятков нанометров до нескольких сотен и тысяч нанометров, выполненную из монокристаллического нановолокна нитрида алюминия, и металлическое напыление, нанесенное на боковую поверхность иглы зонда.

В случае использования предлагаемого зонда в атомно-силовом режиме игла зонда скользит по поверхности исследуемого образца, выдерживая различные механические нагрузки, возникающие из-за особенностей рельефа поверхности образца. Материал иглы зонда – нитрид алюминия – обладает высокой механической прочностью и не ломается, а сам зонд по показателю прочности не уступает используемым сегодня в атомно-силовой микроскопии зондам. В случае использования предлагаемого зонда в туннельном режиме работает металлическое напыление, нанесенное на боковую поверхность иглы зонда, обеспечивая сток туннелированных из образца зарядов. В случае использования предлагаемого зонда в конфокальном микроскопе игла зонда не касается поверхности исследуемого образца, но через нее на образец подается свет. Материал иглы предлагаемого зонда – кристалловолоконно нитрида алюминия – обладает практически абсолютной прозрачностью в видимом диапазоне спектра. Таким образом, в зависимости от необходимого режима работы микроскопа (режим атомно-силовой, туннельной

или конфокальной микроскопии) предлагаемый зонд обеспечивает надежную и эффективную работу.

При современном уровне развития техники изготовление тонкой иглы предлагаемого зонда из монокристаллического нановолокна нитрида алюминия возможно, например, методом газофазного синтеза (способ получения описан в пат. 2312061 РФ). Нанесение на боковую поверхность нановолокна металлического напыления тоже технически реализуемо, например, известным методом эпитаксии.

Формула изобретения

Зонд для сканирующей микроскопии, содержащий основу зонда и прикрепленную к ней иглу, отличающийся тем, что игла выполнена из монокристаллического нановолокна нитрида алюминия диаметром от нескольких десятков нанометров, а на боковую поверхность волокна нанесено металлическое напыление.

**Заявка 2010123259 РФ. Устройство для дезинфекции воды /
А. В. Стихач, С. В. Кортов, В. В. Пиличев, А. Н. Черепанов, А. А. Лещев,
С. В. Звонарев. Заявл. 07.06.2010.**

Реферат

Применение: для массовой дезинфекции воды в отсутствие источников электропитания. Сущность изобретения: устройство для дезинфекции воды состоит из системы подачи воды и источника УФ-излучения, причем система подачи воды обеспечивает многократное прохождение потока воды в прямой видимости от источника УФ-излучения, а источник УФ-излучения представляет собой радиолюминесцентный УФ-излучатель, состоящий из альфа- или бета-радиоактивного вещества, покрытого люминофором, излучающим в УФ-диапазоне при возбуждении излучением радиоактивного вещества. Технический результат: возможность автономной стерилизации воды без применения источников электропитания.

Описание изобретения

Изобретение относится к устройствам и системам для дезинфекции воды, особо к автономным системам для дезинфекции воды.

Известно устройство для стерилизации жидкости (Пат. 94018605 РФ, МПК6 C02F1/32), которое содержит цилиндрическую камеру с патрубками для подвода и отвода жидкой среды, источник оптического излучения, датчик уровня жидкости и насос с приводом, при этом источник излучения выполнен импульсным. Известное устройство пригодно, в том числе, для дезинфекции питьевой воды. Однако, известное устройство для функционирования требует источника электропитания и не позволяет проводить обеззараживание жидкостей в автономном режиме в местах без электричества.

Известно устройство для дезинфекции воды с помощью ультрафиолетового излучения (Пат. 99104493 РФ, МПК⁷ A61L2/10), характеризующееся небольшими эксплуатационными расходами, обеспечивающее узкое распределение времени обработки питательной воды и дозы ультрафиолетового излучения, содержащее а) систему подачи питательной воды самотеком, содержащую впускную распределительную трубу; б) ламинирующую перфорированную, в общем вертикальную направляющую перегородку, расположенную ниже по технологической цепочке от системы подачи питательной воды; в) подвешенную в воздухе обнаженную лампу ультрафиолетового излучения; г) камеру для биологической очистки, имеющую угловые стенки, расположенную под лампой ультрафиолетового излучения ниже по технологической цепочке от направляющей перегородки; д) выпускную сливную перегородку на конце камеры для биологической очистки, имеющей угловые стенки. Однако данное устройство содержит в качестве источника ультрафиолета УФ-лампу, неспособную работать в автономном режиме из-за постоянной потребности в электропитании, что не позволяет использовать известное устройство в местах без электричества (удаленные от поселений источники воды: святые источники, артезианские скважины и т.д.)

Наиболее близким к заявляемому является устройство для дезинфекции воды (Пат. 2204416 РФ, МПК7 A61L2/10), содержащее систему подачи воды самотеком и подвешенную лампу ультрафиолетового излучения. Известное устройство снабжено ламинирующей перфорированной направляющей перегородкой, расположенной ниже по технологической цепочке от системы подачи воды и обеспечивает получение дешевой питьевой воды в больших количествах. Однако, известное устройство не пригодно для автономного обеззараживания воды в местах с отсутствующим электропитанием.

Задачей изобретения является получение технического решения устройства, обеспечивающего автономную дезинфекцию воды при помощи облучения воды ультрафиолетом в отсутствие источников электричества.

Задача решается за счет использования в качестве источника УФ-света радиолуминесцентного излучателя УФ-диапазона, работающего автономно, без применения электричества.

Предлагаемое изобретение – устройство для дезинфекции воды – состоит из системы подачи воды и твердотельного радиолуминесцентного УФ-излучателя, обеспечивающего автономное (без применения электричества) облучение воды практически постоянным потоком УФ-излучения на протяжении требуемого периода времени. Система подачи воды обеспечивает многократное прохождение потока воды в прямой видимости от источника УФ-излучения. УФ-излучатель состоит из радиоактивного изотопа (альфа- или бета-радиоактивного вещества), покрытого слоем люминофора, излучающего в УФ-диапазоне при возбуждении излучением радиоактивного изотопа. Активность радиоактивного изотопа выбирается исходя из интенсивности потока воды, а тип изотопа выбирается с учетом периода его полураспада и необходимого срока службы предлагаемого устройства (от нескольких дней и месяцев до тысяч лет и более). В качестве люминофора УФ-излучателя могут быть использованы кристаллы, активированные редкоземельными ионами, например, кристаллы $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$, $\text{ErF}_3:\text{Er}^{3+}$, $\text{BaYF}_8:\text{Er}^{3+}$, $\text{LiYF}_4:\text{Er}^{3+}$, $\text{TmF}_3:\text{Tm}^{3+}$, $\text{BaYF}_8:\text{Tm}^{3+}$, $\text{LiYF}_4:\text{Tm}^{3+}$, $\text{YPO}_4:\text{Nd}^{3+}$ и др. с максимумами полос люминесценции в УФ-диапазоне спектра.

Формула изобретения

Устройство для дезинфекции воды, состоящее из системы подачи воды и источника УФ-излучения, отличающееся тем, что система подачи воды обеспечивает многократное прохождение потока воды в прямой видимости от источника УФ-излучения, а источник УФ-излучения представляет собой радиолуминесцентный УФ-излучатель, состоящий из альфа- или бета-радиоактивного вещества, покрытого люминофором, излучающим в УФ-диапазоне при возбуждении излучением радиоактивного вещества.

Реферат

Использование: для решения задач по охране, контролю и управлению удаленными объектами (квартир, гаражей, дач, загородных домов, промышленных объектов), включая мобильные объекты (автомобили, а так же ценные вещей, например мобильных ПК). Суть: Охранная система содержит блок управления и связанные с ним периферийные устройства, причем блок управления выполнен в виде нескольких отдельных модулей, построенных по одной схеме и соединенных между собой с помощью проводных и/или беспроводных интерфейсов, взаимодействующих друг с другом и с периферийными устройствами с помощью проводных и беспроводных линий связи в рамках алгоритмов функционирования нейронных сетей. Технический результат: повышение эффективности и надежности охраны.

Описание изобретения

Изобретение относится к области систем информационного обмена и телекоммуникаций на основе интегрирования перспективных телекоммуникационных систем, включая наземные и спутниковые, сотовые и оптические средства связи и применяемых для решения задач по охране, контролю и управлению удаленными объектами (квартир, гаражей, дач, загородных домов, промышленных объектов), включая мобильные объекты (автомобили, а так же ценные вещей, например мобильных ПК).

Общим для всех охранных систем является использование линий связи между охраняемым объектом и владельцем (охранником) для передачи тревожных сигналов в случае возникновения противоправных действий в отношении охраняемого объекта. В качестве линий связи выступают как проводные, так и беспроводные линии. Недостатком проводных систем является необходимость монтажа, высокая стоимость, невозможность охраны мобильных объектов. Беспроводные сети лишены этих недостатков и поэтому могут использоваться для эффективной охраны удаленных и мобильных объектов.

Обычно архитектура охранных систем содержит единый центральный модуль, к которому присоединены различные датчики и исполнительные механизмы (периферийные устройства). Такая архитектура делает уязвимым системы охраны, поскольку выход из строя центрального модуля делает неработоспособной всю систему.

Известна охранная система мобильных объектов REFF-3000 (www.arkansatellite.ru), которая содержит управляющий блок на базе микроконтроллера, блок GSM-связи, блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков). Известная охранная система предназначена для охраны автомобилей и работает только от внешнего питания от автомобильного аккумулятора. В случае срабатывания подключенных к устройству через блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков), управляющий блок вырабатывает команды блоку GSM-связи, который оповещает владельца (охранника) охраняемого объекта посредством GSM-сети. Посредством GSM-сети через блок GSM-связи осуществляется также контроль и управление охранной системой. Однако в случае отсутствия доступной GSM-сети по причине физического ее отсутствия, неполадок в сети, случайных или умышленных помех, известная охранная система не способна ни оповещать владельца (охранника) охраняемого объекта о срабатывании датчиков, ни управляться владельцем (охранником), что снижает надежность охраны. Более того, известная система не имеет внутреннего источника питания, что не позволяет ей работать автономно, что существенно снижает надежность охраны. В известной системе отсутствует также возможность беспроводного подключения датчиков и исполнительных устройств, что также снижает надежность охраны с ис-

пользованием известной системы. Кроме того, работоспособность известной системы связана с работоспособностью управляющего модуля, что делает ее недостаточно надежной.

Известна охранная система мобильных объектов «GSM-Profi» (www.siblink.ru), которая содержит управляющий блок на базе микроконтроллера, блок GSM-связи, блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков). Известная охранная система предназначена для охраны автомобилей и работает только от внешнего питания от автомобильного аккумулятора. В случае срабатывания подключенных к устройству через блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков), управляющий блок вырабатывает команды блоку GSM-связи, который оповещает владельца (охранника) охраняемого объекта посредством GSM-сети. Посредством GSM-сети через блок GSM-связи осуществляется также контроль и управление охранной системой. Однако в случае отсутствия доступной GSM-сети по причине физического ее отсутствия, неполадок в сети, случайных или умышленных помех, известная охранная система не способна ни оповещать владельца (охранника) охраняемого объекта о срабатывании датчиков, ни управляться владельцем (охранником), что снижает надежность охраны. Более того, известная система не имеет внутреннего источника питания, что не позволяет ей работать автономно, что существенно снижает надежность охраны. В известной системе отсутствует также возможность беспроводного подключения датчиков и исполнительных устройств, что также снижает надежность охраны с использованием известной системы. Кроме того, работоспособность известной системы связана с работоспособностью управляющего модуля, что делает ее недостаточно надежной.

Известна охранная система мобильных объектов «МК2002-GM-TM» (www.mpriboi.vrn.ru), которая содержит управляющий блок на базе микроконтроллера, блок GSM-связи, блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков). Известная охранная система предназначена для охраны автомобилей и работает только от внешнего питания от автомобильного аккумулятора. В случае срабатывания подключенных к устройству через блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков), управляющий блок вырабатывает команды блоку GSM-связи, который оповещает владельца (охранника) охраняемого объекта посредством GSM-сети. Посредством GSM-сети через блок GSM-связи осуществляется также контроль и управление охранной системой. Однако в случае отсутствия доступной GSM-сети по причине физического ее отсутствия, неполадок в сети, случайных или умышленных помех, известная охранная система не способна ни оповещать владельца (охранника) охраняемого объекта о срабатывании датчиков, ни управляться владельцем (охранником), что снижает надежность охраны. Более того, известная система не имеет внутреннего источника питания, что не позволяет ей работать автономно, что существенно снижает надежность охраны. В известной системе отсутствует также возможность беспроводного подключения датчиков и исполнительных устройств, что также снижает надежность охраны с использованием известной системы. Кроме того, работоспособность известной системы связана с работоспособностью управляющего модуля, что делает ее недостаточно надежной.

Известна охранная система мобильных объектов «GSM-PRO на базе контроллера CCU-6225» (www.siblink.ru), которая содержит управляющий блок на базе микроконтроллера, блок GSM-связи, блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков, GPS-блока, персонального компьютера), внутренний источник питания. Известная охранная система предназначена для охраны автомобилей и работает в основном от внешнего питания от автомобильного аккумулятора. В случае неисправностей внешнего питания (разряда аккумулятора, случайных или умышленных нарушений проводки) известная система питается от внутреннего источника питания, сохраняя свои функциональные возможности. В случае срабатывания подключенных к устройству че-

рез блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков), управляющий блок вырабатывает команды блоку GSM-связи, который оповещает владельца (охранника) охраняемого объекта посредством GSM-сети. Посредством GSM-сети через блок GSM-связи осуществляется также контроль и управление охранной системой. Однако в случае отсутствия доступной GSM-сети по причине физического ее отсутствия, неполадок в сети, случайных или умышленных помех, известная охранная система не способна ни оповещать владельца (охранника) охраняемого объекта о срабатывании датчиков, ни управляться владельцем (охранником), что снижает надежность охраны. Более того, в известной системе отсутствует подогрев, что сужает рабочий диапазон температур до -20°C , не позволяя системе осуществлять свои функции при пониженных температурах, что в свою очередь также снижает надежность охраны. Наконец, в известной системе отсутствует возможность беспроводного подключения датчиков и исполнительных устройств, что также снижает надежность охраны с использованием известной системы. Кроме того, работоспособность известной системы связана с работоспособностью управляющего модуля, что делает ее недостаточно надежной.

Наиболее близкой к заявляемой является охранная система мобильных объектов «Автосторож GSM 2.X с GPS навигацией» (www.triks.spb.ru), которая содержит управляющий блок на базе микроконтроллера, блок GSM-связи, GPS-приемник, блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков, персонального компьютера), внутренний источник питания, нагреватель. Известная охранная система предназначена для охраны автомобилей и работает в основном от внешнего питания от автомобильного аккумулятора. В случае неисправностей внешнего питания (разряда аккумулятора, случайных или умышленных нарушений проводки) известная система питается от внутреннего источника питания, сохраняя свои функциональные возможности. Нагреватель обеспечивает поддержание температуры внутри устройства, что позволяет устройству правильно функционировать при температурах до -45°C . В случае срабатывания подключенных к устройству через блок для проводного подключения периферийных устройств (датчиков), управляющий блок вырабатывает команды блоку GSM-связи, который оповещает владельца (охранника) охраняемого объекта посредством GSM-сети. Посредством GSM-сети через блок GSM-связи осуществляется также контроль и управление охранной системой. Однако в случае отсутствия доступной GSM-сети по причине физического ее отсутствия, неполадок в сети, случайных или умышленных помех, известная охранная система не способна ни оповещать владельца (охранника) охраняемого объекта о срабатывании датчиков, ни управляться владельцем (охранником), что снижает надежность охраны. Более того, используемый в известной системе метод подогрева не отличается оптимальностью и экономичностью, что существенно уменьшает время автономной работы устройства при пониженных температурах, что в свою очередь также снижает надежность охраны. Наконец, в известной системе отсутствует возможность беспроводного подключения датчиков и исполнительных устройств, что также снижает надежность охраны с использованием известной системы. Кроме того, работоспособность известной системы связана с работоспособностью управляющего модуля, что делает ее недостаточно надежной.

Задачей настоящего изобретения является разработка охранной системы с повышенной надежностью.

Задача решается тем, что предлагаемая охранная система содержит блок управления и связанные с ним периферийные устройства, причем блок управления выполнен в виде нескольких отдельных модулей, взаимодействующих друг с другом и с периферийными устройствами с помощью проводных и беспроводных линий связи. Таким образом, задача решается за счет того, что предлагаемая охранная система в сравнении с аналогами имеет распределенный блок управления, что повышает надежность функционирования предлагаемой охранной системы в сравнении с аналогами.

Предлагаемое устройство содержит несколько (от трех и более) модулей блока управления и периферийные устройства. Все модули блока управления взаимозаменяемы, построены по одной схеме и соединены между собой с помощью проводных и/или беспроводных интерфейсов. К каждому из модулей блока управления могут подсоединяться проводные и беспроводные периферийные устройства.

Предлагаемая охранная система работает следующим образом. Блок управления осуществляет общее управление устройством в соответствии с заложенной в нем программой. Отдельные модули блока управления взаимодействуют между собой в рамках алгоритмов функционирования нейронных сетей, обеспечивая избыточную вычислительную производительность блока управления и связанную с ней надежность блока управления. В случае отказа одного из модулей блока управления, он исключается из взаимодействия с остальными модулями блока управления и информация об отказе передается конечному пользователю охранной системы. При этом охранная система в целом сохраняет свои охранные функции, благодаря перераспределению вычислительных процессов между функционирующими модулями блока управления. Модули блока управления взаимодействуют также с присоединенными к ним периферийными устройствами, причем информация, передаваемая одним из периферийных устройств одному из модулей блока управления, доступна и другим модулям управляющего блока. Особенность предлагаемой системы охраны заключается также в том, что если один из модулей блока управления не имеет непосредственной связи с каким-либо периферийным устройством или с другим модулем блока управления, то эта связь может быть обеспечена через третий модуль управляющего блока, который имеет такие непосредственные связи.

Дополнительным преимуществом предлагаемой охранной системы является то, что отдельные модули блока управления могут иметь достаточно простую схемотехнику, причем одинаковую для всех модулей блока управления.

Формула изобретения

Охранная система, содержащая блок управления и связанные с ним периферийные устройства, отличающаяся тем, что блок управления выполнен в виде нескольких отдельных модулей, построенных по одной схеме и соединенных между собой с помощью проводных и/или беспроводных интерфейсов, взаимодействующих друг с другом и с периферийными устройствами с помощью проводных и беспроводных линий связи в рамках алгоритмов функционирования нейронных сетей.

Реферат

Применение: создание теплообменных аппаратов. Сущность изобретения: теплообменник содержит корпус, в котором размещена труба теплоносителя и элементы интенсификации теплообмена, причем элементы интенсификации теплообмена выполнены в виде ребер из пористого материала с радиальным градиентом пористости, поры ребер заполнены дополнительным теплоносителем, а поверхности ребер имеют непроницаемое для дополнительного теплоносителя покрытие. Технический результат: повышение эффективности теплообмена.

Описание изобретения

Изобретение относится к области теплообменных аппаратов с повышенной эффективностью теплообмена.

В многочисленных технических решениях теплообменных аппаратов для повышения эффективности теплообмена применяется оребрение, которое повышает площадь теплообмена и осуществляет теплообмен благодаря процессам теплопроводности и теплового излучения. Процессы конвекционного переноса теплоты в ребрах теплообменниках обычно не используются, что понижает эффективность их работы. В предлагаемом техническом решении ребро теплообменника осуществляет теплообмен тремя способами: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. Рассмотрим основные аналоги и прототип предлагаемого решения.

Известен теплообменник (Пат. 98116214 РФ, МПК F28D1/03), содержащий множество отдельных элементов, каждый из которых содержит верхнюю пластину, имеющую входное отверстие на одном конце и выходное отверстие на другом, нижнюю пластину, имеющую входное отверстие на одном конце и выходное отверстие на другом, причем периферийные края нижней пластины прикреплены к периферийным краям верхней пластины, два первичных ребристых элемента, один из которых прикреплен к внешней стороне верхней пластины, другой прикреплен к внешней стороне нижней пластины, вторичный ребристый элемент, расположенный между входным и выходным отверстиями, который размещен по типу сэндвича между нижней и верхней пластинами, при этом вторичный ребристый элемент имеет входной край и край для вывода причем вторичный ребристый элемент прикреплен к внутренней стороне верхней пластины и внутренней стороне нижней пластины, блок первичных ребер коллектора, соединяющих входное отверстие и входной край, блок вторичных ребер коллектора, соединяющих отверстие для вывода и край для вывода, и средства для сопротивления внешнему давлению внутри отдельного элемента теплообменника, причем эти средства содержат ребра вторичного ребристого элемента, полностью прикрепленные посредством адгезии к примыкающим верхней и нижней пластинам. Однако в известном теплообменнике теплообмен осуществляется путем теплопередачи и излучением, без использования конвекции в ребристых элементах, что в целом снижает эффективность теплообменника.

Известен теплообменник (Пат. 2378594 РФ, МПК F28D7/00), содержащий корпус с размещенным внутри пучком теплообменных труб, закрепленных в трубных досках, и пакетом параллельно расположенных гофрированных пластин в межтрубном объеме, две противоположные стенки корпуса выполнены гофрированными параллельно пакету пластин, а две другие - плоскими, каждая труба также изогнута по профилю пластин, размещена между ними и снабжена снаружи на прямых участках винтообразными ребрами с изменяющимся углом закрутки, а внутри - лентой с противоположным относителю ребер направлением закрутки, при этом в межтрубном объеме эквидистантно

трубам размещены вытеснители в виде прутков, закрепленных в дополнительных трубных досках. Однако в известном теплообменнике теплообмен осуществляется путем теплопередачи и излучением, без использования конвекции в пластинах, что в целом снижает эффективность теплообменника.

Известен теплообменник (Пат. 2365843 РФ, МПК F28C3/06), содержащий корпус с патрубками ввода и вывода воды и воздуха, сепаратор и переливное устройство, несколько теплообменных элементов, размещенных над дном корпуса, при этом каждый из теплообменных элементов снабжен закручивателями воздуха с лопатками, закрепленными на кольцевой пластине, выхлопной трубой, установленной на верхних кромках лопаток, причем выхлопные трубы присоединены к патрубку вывода воздуха из аппарата, патрубки ввода и вывода охлаждаемой воды из аппарата вмонтированы в патрубок вывода воздуха из аппарата, а в нижних частях выхлопных труб теплообменных элементов размещены теплообменники с патрубками ввода и вывода воды, причем внутри верхних частей выхлопных труб теплообменных элементов соосно с ними размещены цилиндрические емкости, разделенные внутренними перегородками вдоль вертикальных осей на две части, одна из которых оснащена патрубком ввода воды, а другая - патрубком вывода воды, при этом перегородки прикреплены верхними торцами к крышкам емкостей, а нижние торцы не доходят до дна емкостей, между внешними поверхностями емкостей и внутренними поверхностями выхлопных труб закреплены пластинчатые ребра, патрубки входа воды в емкости присоединены к вводам воды в аппарат, а патрубки вывода воды из емкостей присоединены к патрубкам ввода воды в теплообменники, размещенные в нижней части выхлопных труб, а патрубки вывода воды из этих теплообменников присоединены к выводам охлаждаемой воды из аппарата. Однако в известном теплообменнике теплообмен осуществляется путем теплопередачи и излучением, без использования конвекции в пластинчатых ребрах, что в целом снижает эффективность теплообменника

Наиболее близким к заявляемому является известный теплообменник (Пат. 2351864 РФ, МПК F28D15/02), содержащий корпус, в котором размещена труба теплоносителя с ребрами в виде тепловых оребренных трубок. Одним концом тепловые трубки установлены внутри трубы теплоносителя наклонно к образующим цилиндрической поверхности трубы теплоносителя по винтовой линии, а другим в корпусе. Ребра выполнены на той части тепловых трубок, которая расположена в корпусе. Тепловые оребренные трубки вакуумированы и заполнены порциями воды. Однако известный теплообменник имеет достаточно сложную, неоднородную конструкцию, что затрудняет применение таких теплообменников в условиях повышенных вибрационных нагрузок.

Задачей изобретения является создание ребристого теплообменника с повышенной эффективностью теплообмена

Задача решается благодаря тому, что предлагаемый теплообменник содержит корпус, в котором размещена труба теплоносителя и элементы интенсификации теплообмена (ребра), причем ребра выполнены из пористого материала с радиальным градиентом пористости, поры ребер заполнены дополнительным теплоносителем, а поверхности ребер имеют непроницаемое для дополнительного теплоносителя покрытие.

Предлагаемый теплообменник содержит корпус, в котором размещена ребристая труба. Основная особенность конструкции предлагаемого теплообменника связана со строением ребер. Они представляют собой пористые тела с радиальным градиентом пористости (увеличивающимся с увеличением радиуса), поры которых заполнены дополнительным теплоносителем, а поверхность которых имеет непроницаемое для дополнительного теплоносителя покрытие. В таких пористых телах теплообмен происходит помимо теплопередачи и теплового излучения еще и за счет конвективного переноса тепла дополнительным теплоносителем. Наличие градиента пористости в ребрах позволяет им

функционировать по принципу тепловой трубы. В результате предлагаемый теплообменник обладает повышенной эффективностью теплообмена.

С технологической точки зрения создание пористых ребер может быть выполнено спеканием микрочастиц металла, а непроницаемость поверхности ребер для дополнительного теплоносителя может быть достигнута за счет усиленного спекания частиц металла на поверхности ребра, при этом они могут сформировать сплошную металлическую пленку. В качестве дополнительного теплоносителя может использоваться, например, вода или масло.

Формула изобретения

Теплообменник, содержащий корпус, в котором размещена труба теплоносителя и элементы интенсификации теплообмена, отличающийся тем, что элементы интенсификации теплообмена выполнены в виде ребер из пористого материала с радиальным градиентом пористости, поры ребер заполнены дополнительным теплоносителем, а поверхности ребер имеют непроницаемое для дополнительного теплоносителя покрытие.

Заявка 2010123272 РФ. Способ определения скорости потока жидкости / А. А. Ямалтдинов, С. В. Кортов, В. В. Пиличев, М. Е. Пиличева, А. Н. Черепанов, А. А. Русаков, И. С. Отрадных. Заявл. 07.06.2010.

Реферат

Использование: для определения скоростей потоков прозрачных жидкостей.

Сущность изобретения: в предлагаемом способе для измерения скорости потока жидкости используют непрерывные сигналы φ_1 и φ_2 , характеризующие величины отклонения от прямолинейного направления распространения двух параллельных лазерных лучей, проходящих через поток жидкости на расстоянии L друг от друга по ходу течения жидкости, определяют задержку t_n между сигналами φ_1 и φ_2 , как значение, при котором корреляционная функция

$$\sigma_n = \frac{1}{\Delta T} \sum_{t=0} \varphi_1(t) \varphi_2(t + t_n),$$

где ΔT – промежуток времени, в течение которого производится наблюдение, достигает своего максимального значения, и вычисляют скорость потока как отношение L/t_n .

Технический результат: обеспечение непрерывного измерения скорости потока жидкости при повышенной точности измерения вне зависимости от температуры окружения.

Описание изобретения

Изобретение относится к техническим решениям для определения скоростей потоков жидкостей и может быть использовано в различных системах для контроля скорости потока жидкостей в технологических цепочках различных производств.

Известен способ определения скорости потока жидкости (Пат. 2244310 РФ, МПК⁷ G01P5/10, G01F1/68), заключающийся в том, что подводят импульсно от источника переменного тока к спаяу измерительной термопары мощность, нагревают спай измерительной термопары, измеряют мощность N и время импульса τ , измеряют температуру спаия на нисходящем участке зависимости $T_{\text{сп}} = f(\tau)$, определяют температуру охлаждения спаия на нисходящей ветви зависимости $T_{\text{сп}} = f(\tau)$, $m = -(dT_{\text{сп}}/d\tau)/(T_{\text{сп}} - T_{\text{ж}})$, где $T_{\text{сп}}$ и $T_{\text{ж}}$ – температуры спаия и жидкости соответственно, определяют коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ на основе зависимостей $\alpha_{\text{н}} = m_{\text{ср}} V/F$ и $\alpha_{\text{в}} = N/(F(T_{\text{сп}} - T_{\text{ж}}))$, где F поверхность спаия, V – объем спаия, c и ρ – теплоемкость и плотность материала спаия соответственно, определяют среднее значение коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{ср}} = (\alpha_{\text{в}} + \alpha_{\text{н}})/2$, определяют скорость W потока жидкости на основе предварительно полученной зависимости $W = f(\alpha_{\text{ср}})$, причем время импульса $\tau_{\text{м}}$ выбирается из условия достижения регулярного режима $\tau_{\text{р}}$ нагрева спаия, $\tau_{\text{м}} \geq \tau_{\text{р}}$ определяемое на основе условия $-mB = -(dT_{\text{сп}}/d\tau)/(T_{\text{сп}} - T_{\text{ж}}) = \text{idem}$ с течением времени. Однако данный способ требует достаточно надежных способов термозащиты термопар от внешних температурных влияний, присутствие которых может существенно понизить точность известного способа.

Известен способ определения скорости потока жидкости (Пат. 2212669 РФ, МПК⁷ G01P5/10, G01F1/68), заключающийся в том, что отделение полезного сигнала, сформированного спаем измерительной термопары, от сигнала, генерируемого источником переменного тока, достигается путем подачи на вход измерительного усилителя противофазного сигнала, сформированного дополнительной измерительной цепью, включающей компенсационную термопару, источник переменного тока, идентичные измерительной термопаре и источнику переменного тока основной измерительной цепи, а скорость потока жидкости определяют на основе зависимости $W = f(T_{\text{изм}} - T_{\text{кмп}})$, причем мощности, подводимые к спаю измерительной и компенсационной термопар, различны, где W – скорость потока, $T_{\text{изм}}$, $T_{\text{кмп}}$ – температуры спаев измерительной и компенсационной тер-

мопар. Однако данный способ требует достаточно надежных способов термоизоляции термомпар от внешних температурных влияний, присутствие которых может существенно понизить точность известного способа.

Известен способ определения скорости потока жидкости (Пат. 2142642 РФ, МПК7 G01P5/00, G01F1/66) с помощью ультразвукового излучения. В рамках известного способа измеряют скорости потока по определенным направлениям через определенные углы относительно центральной оси трубопровода. Определяют зависимость скорости от угла. Рассчитывают аналогичные зависимости по уравнениям Салами, описывающим различные реальные профили потока, и в результате сравнения полученной и расчетных зависимостей находят наиболее близкое к полученной зависимости уравнение Салами, соответствующее профилю скорости потока жидкости в контролируемом сечении. Однако известный способ обладает достаточной сложной реализацией, его точность недостаточна, особенно, в условиях протяженных прямолинейных участков трубопровода.

Наиболее близким к заявляемому является способ определения скорости потока жидкости (Пат. 2376465 РФ, МПК7 E21B47/00), заключающийся в том, что поток жидкости облучают импульсным источником излучения, получают первый временной сигнал, возникающий в результате облучения и отображающий момент времени приведения в действие источника, получают один второй временной сигнал, возникающий в результате облучения одного детектора, расположенного на расстоянии от источника и отображающего скорость потока первой жидкости, и осуществляют определение скорости потока на основе анализа первого временного сигнала, одного второго временного сигнала и расстояния между местом, где измеряется первый временной сигнал и одним детектором или между источником излучения и одним детектором. Однако известный способ не обеспечивает непрерывный контроль скорости потока жидкости, поскольку при его реализации используется импульсный источник излучения (измерение происходит лишь в моменты срабатывания источника).

Задачей изобретения является обеспечение непрерывного измерения скорости потока жидкости при повышенной точности измерения вне зависимости от температуры окружения.

Задача изобретения решается благодаря тому, что в предлагаемом способе для измерения скорости потока жидкости используют непрерывные сигналы φ_1 и φ_2 , характеризующие величины отклонения от прямолинейного направления распространения двух параллельных лазерных лучей, проходящих через поток жидкости на расстоянии L друг от друга по ходу течения жидкости, определяют задержку t_n между сигналами φ_1 и φ_2 , как значение, при котором корреляционная функция

$$\sigma_n = \frac{1}{\Delta T} \sum_{t=0} \varphi_1(t) \varphi_2(t + t_n),$$

где ΔT – промежуток времени, в течение которого производится наблюдение, достигает своего максимального значения, и вычисляют скорость потока как отношение L/t_n .

Предлагаемый способ определения скорости потока жидкости заключается в следующем. Через прозрачную жидкость, протекающую в трубе постоянного сечения, пропускают два параллельных лазерных луча, пересекающих поток по ходу движения жидкости и находящихся на малом расстоянии L друг от друга. Требование прозрачности жидкости в данном случае подразумевает, что генерируемый лазерами свет способен пройти сквозь поток жидкости без существенных потерь в интенсивности. Если поток жидкости полностью ламинарный и не содержит примесей или пузырьков, тогда лазерные лучи, пройдя сквозь жидкость, не изменят своего первоначального направления. Если в потоке возникают случайные флуктуации плотности (турбулентное течение, примеси, пузырьки и т.п.), то лазерные лучи, преодолевая поток жидкости, будут отклоняться от своего первоначального поло-

жения, в силу того, что в неоднородном потоке будет изменяться коэффициент преломления. В общем случае первый лазерный луч, пройдя сквозь неоднородный поток жидкости, отклонится от первоначального положения на малый угол φ_1 , а второй луч – на угол φ_2 . Если расстояние L между лазерными лучами мало, то распределение плотности в потоке жидкости не успеет сильно измениться при перетекании ее от места пересечения первым лазерным лучом к месту пересечения вторым лазерным. По этой причине временное поведение угла φ_2 отклонения второго лазерного луча будет подобно временному поведению угла φ_1 отклонения первого лазерного луча, но с запаздыванием на некоторое время t_n . Время запаздывания определяется как значение, при котором корреляционная функция

$$\sigma_n = \frac{1}{\Delta T} \sum_{t=0} \varphi_1(t) \varphi_2(t + t_n),$$

где ΔT – промежуток времени, в течение которого производится наблюдение, достигает своего максимального значения. По сути, время запаздывания t_n соответствует времени прохождения жидкостью расстояния L . Таким образом, определив t_n , и, зная расстояние L , определяют скорость V потока жидкости: $V = L/t_n$.

Формула изобретения

Способ определения скорости потока жидкости заключающийся в том, что поток жидкости облучают источником излучения и получают первый временной сигнал и, затем получают второй временной сигнал и, зная расстояние между местами получения сигналов и временную задержку между ними, вычисляют скорость потока жидкости как отношение разности времен задержки к расстоянию между местами получения временных отметок, отличающийся тем, что в качестве источника излучения используют лазер, луч которого направляют через поток жидкости, дополнительно по ходу течения жидкости на расстоянии L устанавливают второй лазер, таким образом, что его луч параллелен лучу первого лазера, в качестве сигналов используют сигналы φ_1 и φ_2 , характеризующие величины отклонения от прямолинейного направления распространения двух параллельных лазерных лучей, проходящих через поток жидкости, определяют задержку t_n между сигналами φ_1 и φ_2 , как значение, при котором корреляционная функция

$$\sigma_n = \frac{1}{\Delta T} \sum_{t=0} \varphi_1(t) \varphi_2(t + t_n),$$

где ΔT – промежуток времени, в течение которого производится наблюдение, достигает своего максимального значения, и вычисляют скорость потока как отношение L/t_n .

Заявка 2010133473 РФ. Сцинтилляционный спектрометр нейтронов
/ Ю. И. Чернухин, В. А. Терехин, Б. В. Шулгин, А. Н. Черепанов,
В. Ю. Иванов, М. Н. Благовещенский, В. И. Арбузов, К. В. Дукельский.
Заявл. 09.08.2010. Дата публикации заявки 20.02.2012.

Реферат

Использование: в системах обнаружения и идентификации источников нейтронного излучения на фоне гамма-излучения.

Сущность изобретения: сцинтилляционный спектрометр нейтронов содержит сцинтилляторы, чувствительные к быстрым нейтронам, и сцинтилляторы, чувствительные к тепловым нейтронам, которые подключены к блоку обработки информации, причем сцинтилляционный спектрометр нейтронов состоит из чередующихся слоев сцинтилляторов: слоев пластмассовых органических сцинтилляторов, чувствительных к быстрым нейтронам и гамма-квантам, и слоев стеклянных литий-6-содержащих сцинтиллирующих волокон, чувствительных к тепловым нейтронам, а блок электронной обработки информации содержит амплитудный дискриминатор сигналов от слоев стеклянных литий-6-содержащих сцинтиллирующих волокон и схему совпадения сигналов от слоев пластмассовых органических сцинтилляторов и слоев стеклянных литий-6-содержащих сцинтиллирующих волокон.

Технический результат: повышение чувствительности обнаружения и надежности идентификации источников гамма-нейтронного излучения, большая апертура, пригодность для применения в портальных технологиях.

Описание полезной модели

Устройство относится к спектрометрам нейтронов и может быть использовано для обнаружения и идентификации источников излучения, в частности, в портальных технологиях при обнаружении и идентификации источников нейтронов (например, плутония) на уровне сопутствующего (фонового) гамма-излучения при соотношении потока нейтронов и гамма-квантов значительно меньше 1 ($n/\gamma \leq 10^{-2} \dots 10^{-6}$).

Известны сцинтилляционные однокристалльные спектрометры быстрых нейтронов с дискриминацией гамма-квантов (Столярова Е.А. Нейтронные спектрометры и их применение в прикладных задачах. М.: Атомиздат, 1969). В частности, спектрометры на базе органических кристаллов стибена позволяют осуществлять дискриминацию гамма-квантов по форме импульса. Однако их применение в портальных технологиях ограничено из-за небольших размеров кристаллов.

Известен сцинтилляционный детектор быстрых и тепловых нейтронов (патент РФ № 2259573, G01T1/20, 3/06, опубл. 27.08.2005). Детектор состоит из датчика и блока электронной обработки сигналов. Датчик содержит в едином корпусе два сцинтиллятора – пластиковый, чувствительный к быстрым нейтронам и стеклянный, содержащий литий-6, чувствительный к тепловым нейтронам. Однако данный детектор не разделяет импульсы от нейтронов и гамма-квантов и, таким образом, не позволяет идентифицировать источник нейтронов на фоне гамма-излучения.

Известны портальные мониторы (патент РФ RU 2129289 C1, G01T1/67; опубл. 20.04.1999), в которых для регистрации гамма-излучения широко используются пластмассовые сцинтилляторы большой площади, а для регистрации нейтронов – гелиевые газоразрядные нейтронные детекторы. Недостатком нейтронных счетчиков является отсутствие спектральной чувствительности, а пластмассового сцинтиллятора – отсутствие раздельной регистрации нейтронов и гамма-квантов. Влияние гамма-квантов при регистрации нейтронов определяется качеством схемы разделения нейтронов и гамма-квантов, эффективность которых в ряде случаев в настоящее время недостаточна (дискриминация $n/\gamma \sim 10^{-2} \dots 10^{-3}$).

Известны (R.S. Seymour, R.A. Craig, M. Bliss et al. Performance of a Neutron-Sensitive Scintillating Glass-Fiber Panel for Portal, Freight and Vehicle Monitoring // Proceeding of SPIE, V. 3536. Nuclear Waste Engineering Section, p. 148–155, 1998) портальные мониторы нейтронного излучения на базе литийсодержащего сцинтиллирующего оптоволокна PUMA (Патент № 5680423 США. Method and Apparatus for Detecting Neutrons / R. Perkins et al., опублик. 21.10.1997), в которых в качестве дополнительного детектора гамма-квантов используются неорганические кристаллы (NaI:Tl, BGO). К их недостаткам относится отсутствие спектральной чувствительности к нейтронам, ограниченная апертура регистрации гамма-излучения.

Известен спектрально-чувствительный детектор нейтронов (Патент № 2102775 РФ, G01T 3/00, опублик. 20.01.1998). Детектор предназначен для определения энергетических распределений направленных потоков нейтронов. Устройство содержит гетерогенную систему, состоящую из замедляющих нейтроны плоских полиэтиленовых слоев и регистрирующих тепловые нейтроны слоев гелиевых газоразрядных датчиков. Недостатком такого устройства является то, что с его помощью не регистрируется сопутствующее нейтронам гамма-излучение источников и низкие спектрометрические характеристики.

Наиболее близким к заявляемому является известный спектрометр быстрых нейтронов (Д.Н. Абдурашитов, В.Н. Гаврин, Г.Д. Ефимов и др. Приборы и техника эксперимента. 1997. № 6. С. 5 – 17). В спектрометре используется комбинированный детектор, состоящий из органического сцинтиллятора-замедлителя, в качестве которого используют жидкий органический сцинтиллятор, гелиевых газоразрядных счетчиков тепловых нейтронов, равномерно распределенных в объеме замедлителя, и электронной схемы, дискриминирующей гамма кванты. Однако такой спектрометр имеет большие массогабаритные размеры из-за применения гелиевых газоразрядных счетчиков, конструкция известного спектрометра не приспособлена для решения задач портальных технологий.

Задача изобретения заключается в создании относительно простого и недорогого, высокоэффективного и низкофонового сцинтилляционного спектрометра нейтронов и гамма-квантов, имеющего большую апертуру и позволяющего надежно обнаруживать и разделять сигналы от источников нейтронного и гамма-излучения.

Задача решается за счет того, что предлагаемый сцинтилляционный спектрометр нейтронов содержит сцинтилляторы, чувствительные к быстрым нейтронам, и сцинтилляторы, чувствительные к тепловым нейтронам, которые подключены к блоку обработки информации, причем сцинтилляционный спектрометр нейтронов состоит из чередующихся слоев сцинтилляторов: слоев пластмассовых органических сцинтилляторов, чувствительных к быстрым нейтронам и гамма-квантам, и слоев стеклянных литий-6-содержащих сцинтиллирующих волокон, чувствительных к тепловым нейтронам, а блок электронной обработки информации содержит амплитудный дискриминатор сигналов от слоев стеклянных литий-6-содержащих сцинтиллирующих волокон и схему совпадения сигналов от слоев пластмассовых органических сцинтилляторов и от слоев стеклянных литий-6-содержащих сцинтиллирующих волокон.

Работа спектрометра анализировалась с помощью расчетов методом Монте-Карло на примере осесимметричной модели, приведенной на Фиг. 1, состоящей из четырех слоев оптоволокна, разделенных четырьмя слоями органического пластмассового сцинтиллятора.

В расчетной схеме модели спектрометра (Фиг. 1) с детектирующими слоями 1–8 все размеры приведены в сантиметрах. В схеме использованы следующие обозначения:

1 – 4 – слои сцинтиллирующих стеклянных волокон ($\text{Si}_{1,0} \text{O}_{2,58}$ $^6\text{Li}_{0,363}$ $^7\text{Li}_{0,027}$, $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$), образуют канал регистрации 9;

5 – 8 – слои органического сцинтиллятора ($\text{CH}_{1,1}$, $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$), образуют канал регистрации 10;

11 – точечный изотропный $\text{п/}\gamma$ -источник;

12 – блок обработки информации.

Эквивалентная толщина слоя стекловолокна равна $\cong 0,014 \text{ см}$, а толщина каждого слоя из органического сцинтиллятора равна $2,5 \text{ см}$.

Расчеты проведены для точечных $\text{п/}\gamma$ -источников 11, размещенных на оси спектрометра и отстоящих от его лицевой поверхности на расстоянии, равном 100 см . Спектр источников принимался соответствующим энергетическим распределениям нейтронов и гамма-излучений для изотопных (^{238}Pu –Be) и ^{252}Cf -источников.

Устройство работает следующим образом. Нейтроны и гамма-кванты, распространяющиеся в направлении оси Z, падают на фронтальную поверхность детектора и, взаимодействуя с веществом его рабочих слоев, создают поток быстрых протонов, электронов и позитронов, энергия которых в детектирующих слоях 1–4 и 5 – 8 преобразуется в световые сцинтилляции, которые по каналам 9 и 10 поступают на фотоприемное устройство (ФЭУ) блока электронной обработки информации 12, где они регистрируются и анализируются. Блок электронной обработки информации 12 позволяет различать сигналы от нейтронов и гамма-квантов, а с использованием аппаратурных спектров протонов отдачи, регистрируемых органическим сцинтиллятором, позволяет восстанавливать исходные энергетические спектры нейтронов.

Максимальная энергия электронов, поглощенная в стекловолоконных слоях 1–4, Фиг. 1, при взаимодействии с рабочим телом детектора для условий, представляющая практический интерес, существенно меньше поглощающейся в них энергии заряженных частиц экзотермической реакции $^6\text{Li}(\text{n},\alpha)\text{T}$, $Q \cong 4,8 \text{ МэВ}$, определяющей регистрацию нейтронов в этих слоях после их замедления и термализации в слоях 5 – 8 органического пластмассового сцинтиллятора. Это обстоятельство при соответствующем выборе порога регистрации сигналов в слоях 1 – 4 канала 9 позволяет достичь коэффициента разделения регистрируемых в канале 9 нейтронов и гамма квантов $K_{\text{п/}\gamma} \sim 10^3$.

Важной особенностью предлагаемого устройства является причинно-следственная связь между регистрацией быстрых нейтронов (с энергией $E_{\text{n}} > 0,5 \text{ МэВ}$) и гамма квантов в слоях 5 – 8 и 1 – 4 :

- при регистрации гамма-квантов сигнал в слоях 1–4 образуется в основном в результате рождения быстрых электронов (позитронов) при взаимодействии их с веществом слоев 5 – 8 и, следовательно, появления соответствующего сигнала в слоях 5 – 8.
- при регистрации быстрых нейтронов сигнал в слоях 1–4 возникает в результате экзотермической реакции $^6\text{Li}(\text{n},\alpha)\text{T}$ с энерговыделением $Q \cong 4,8 \text{ МэВ}$ на тепловых нейтронах, образующихся при замедлении и термализации быстрых нейтронов, в основном, за счет их упругих столкновений с ядрами водорода в слоях 5 – 8, что ведет к появлению в них быстрых протонов отдачи и, как следствие, к образованию сигнала в слоях 5 – 8.

Характерная длительность интервалов между коррелированными сигналами в каналах 10 и 9 при регистрации быстрых нейтронов составляет $\cong 100 \text{ мкс}$, а при регистрации гамма-квантов – менее $0,1 \text{ мкс}$. В предлагаемом устройстве это обстоятельство используется для повышения коэффициента разделения $K_{\text{п/}\gamma}$ посредством применения схемы совпадений для поступающих сигналов по каналам 10 и 9 с временным окном регистрации $\Delta T_{\text{СС}} \cong (0,1\text{--}100) \text{ мкс}$.

Использование нескольких слоев пластмассовых органических сцинтилляторов достаточно большого суммарного объема позволяет значительно увеличить интегральную чувствительность предлагаемого сцинтилляционного спектрометра нейтронов к

нейтронному излучению. Наличие в предлагаемом сцинтилляционном спектрометре нейтронов чередующихся слоев разнородных (пластиковых органических и стеклянных литий-6-содержащих) сцинтилляторов, т. е. гетерогенная структура предлагаемого спектрометра, позволяет разделять сигналы от нейтронов и гамма-квантов и на основе аппаратных спектров протонов отдачи, регистрируемых разнородными слоями сцинтилляторов, восстанавливать энергетические спектры регистрируемых нейтронов.

Дополнительные возможности улучшения характеристик детектора возникают при использовании вместо органического пластического сцинтиллятора жидкоорганического сцинтиллятора типа NE 213, позволяющего разделять нейтроны и гамма-кванты по времени высвечивания

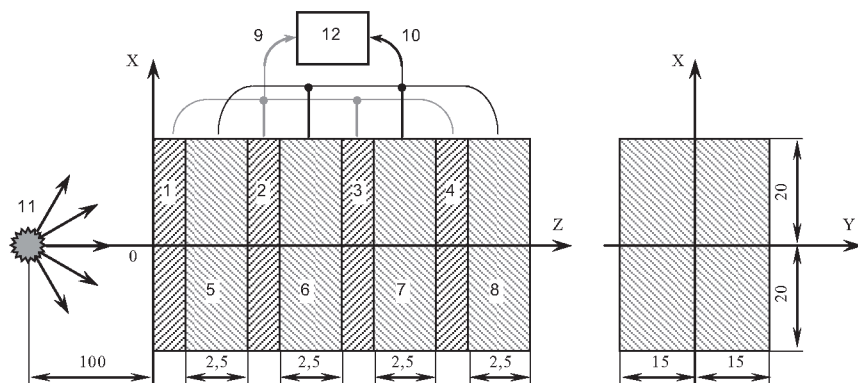
С учетом вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- медленные нейтроны ($E_n < 0,5$ МэВ) регистрируются слоями 1 – 4 с подавлением фона гамма-квантов, характерным для стекловолоконных детекторов (первая ступень дискриминации гамма-квантов, $K_{n/\gamma} \sim 10^3$);
- быстрые нейтроны ($E_n > 0,5$ МэВ) регистрируются при совпадении сигнала от протона отдачи в органическом сцинтилляторе, слой 5 – 8, и сигнала регистрации замедленного нейтрона по реакции ${}^6\text{Li}(n,\alpha)T$ в канале 9. При этом окно схемы совпадений открывается с задержкой, исключающей фон от гамма-квантов, регистрируемых каналами 10 и 9. Таким образом, степень дискриминации гамма-квантов при регистрации быстрых нейтронов увеличивается (вторая ступень дискриминации гамма-квантов, $K_{n/\gamma} \sim 10^6$);
- при использовании жидких органических сцинтилляторов (типа NE 213) возникает дополнительная возможность для дискриминации нейтронов и гамма-квантов по форме создаваемых ими импульсов (третья ступень дискриминации гамма-квантов, при которой коэффициент разделения может быть многократно увеличен: $K_{n/\gamma} > 10^6$);
- восстановление энергетического спектра нейтронов из амплитудных аппаратных спектров позволяет идентифицировать источник излучения;
- рассмотренный вариант низкофоновый нейтронный спектрометр с замедлителем из органического сцинтиллятора позволяет обнаруживать и идентифицировать нейтронные источники в условиях повышенного фона гамма-излучения ($n/\gamma \sim 10^{-4} \dots 10^{-6}$);
- устройство (спектрометр), воплощающее заявленное изобретение, предназначено для использования в разнообразных системах обнаружения и идентификации источников нейтронов с целью улучшения их технических и эксплуатационных характеристик ;
- для заявленного устройства в том виде, как оно охарактеризовано в формуле изобретения, подтверждена возможность его осуществления с помощью описанных в заявке и известных до даты приоритета средств и методов;
- описанный в заявленном изобретении гетерогенный сцинтилляционный спектрометр нейтронов с чередующимися слоями сцинтиллирующих стеклянных волокон и слоями органических сцинтилляторов при его осуществлении способен обеспечить достижение усматриваемого заявителем технического результата: надежно обнаруживать и разделять сигналы от источников нейтронного и гамма-излучения.

Формула изобретения

Сцинтилляционный спектрометр нейтронов, содержащий сцинтилляторы, чувствительные к быстрым нейтронам, и сцинтилляторы, чувствительные к тепловым нейтронам, подключенные к блоку обработки информации, отличающийся тем, что сцинтилляционный спектрометр нейтронов состоит из чередующихся слоев сцинтилля-

торов: слоев пластмассовых органических сцинтилляторов, чувствительных к быстрым нейтронам и гамма-квантам, и слоев стеклянных литий-6-содержащих сцинтиллирующих волокон, чувствительных к тепловым нейтронам, а блок электронной обработки информации содержит амплитудный дискриминатор сигналов от слоев стеклянных литий-6-содержащих сцинтиллирующих волокон и схему совпадения сигналов от слоев пластмассовых органических сцинтилляторов и от слоев стеклянных литий-6-содержащих сцинтиллирующих волокон.



Фиг. 1

Реферат

Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений с использованием перемещаемых по территории (зоне) поиска ионизационных счетчиков или сцинтилляционных детекторов. Предложенный способ может применяться в носимых портативных или в автомобильных устройствах радиационного контроля (РК) и предназначен для поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений (ИИ), утерянных или преднамеренно незаконно захороненных.

Суть изобретения заключается в непрерывном измерении средней скорости счета аддитивной смеси сигнала и фона $n(t)$ в процессе движения детектирующей системы по обследуемой территории, обработке полученной измерительной информации и принятии решения об обнаружении искомого объекта. Обработка выполняется путем разбиения вектора $n(t)$ на участки времени экспозиции $t_{\text{экс}}$, длительность каждого из которых одинакова и составляет предпочтительно $(8-15) \cdot t_e$, определения значения средней скорости счета фона b , амплитуды предполагаемого сигнала a_m и положения сигнала t_m на шкале времени, далее вычисления параметра η по формуле

$$\eta = \frac{a_m}{\sqrt{\frac{a_m + b}{t_e} + \frac{b}{t_{\text{экс}} - 2t_e}}} \quad (1),$$

где t_e – эффективная длительность сигнала, и сравнении η с порогом q_0 , определяемым по заданной вероятности ложных тревог. В случае, если $\eta > q_0$, принимается решение об обнаружении искомого источника ИИ. Причем обработку измерительной информации от детектирующей системы осуществляют при последовательном увеличении эффективной длительности сигнала t_e в $(1,3 \pm 0,1)$ раза от минимального $t_{e1} = 4 \cdot t_0$, далее $t_{e2} = 6 \cdot t_0$, $t_{e3} = 8 \cdot t_0$, ... и т.д. до максимального значения $t_e \leq 100$ с, (где t_0 – интервал времени дискретизации вектора $n(t)$). Далее вычисляют параметр η_j по (1) для каждого значения t_{ej} , и для того из значений $t_{ej} = t_{em}$, для которого параметр η_j принимает максимальное значение η_m , вычисляют значение оценки искомого расстояния между детектором и источником ИИ по формуле

$$R^* = k_k v_0 t_{em} \quad (2),$$

где v_0 – средняя скорость перемещения детектирующей системы, а коэффициент k_k равен $2,0 - 2,8$ в зависимости от конструкции детектора.

Технический результат предлагаемого изобретения заключается в том, что достигается уменьшение вероятности пропуска полезного сигнала (и, соответственно – источника ИИ) и повышение точности оценки местоположения обнаруженного источника.

Описание изобретения

Заявляемый способ относится к области радиационного контроля с использованием ионизационных счетчиков (пропорциональных или счетчиков Гейгера), или сцинтилляционных детекторов и предназначен для поиска, обнаружения и оценки координат местоположения источников ионизирующих излучений (ИИ), утерянных или несанкционированно и преднамеренно спрятанных, например, в случаях незаконного захоронения

радиоактивных отходов, и т.п. Заявляемый способ может применяться в носимых портативных или мобильных устройствах радиационного контроля (РК), например, в автомобильных или вертолетных устройствах РК.

Известны способы поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений, используемые в портативных устройствах оперативного радиационного контроля [1-4]. Такие устройства представляют собой, как правило, портативные радиометры-дозиметры, в которые введены электронное пороговое устройство, и соответствующая звуковая и (или) световая сигнализация превышения порога. В упомянутых устройствах (системах) применяются различные счетные детекторы ионизирующих излучений (либо сцинтилляционные счетчики, либо ионизационные счетчики гамма- и нейтронного излучения).

Так, в одной из сравнительно новых разработок — дозиметре поискового типа ДРС-РМ1401 (СП «Полимастер», г. Минск) [1], построенном на базе сцинтилляционного счетчика с фотодиодом, используется простейший способ поиска и обнаружения, основанный на использовании постоянного (жестко устанавливаемого) порога обнаружения, зависящего от первоначально измеренного уровня фона, и сводящийся к следующей последовательности операций:

- перед началом контроля проверяемых объектов измеряют количество импульсов фонового излучения N_b за время $t_b=36$ с;
- прибор переключают в режим оперативного контроля, т.е. измеряют количество импульсов излучения от контролируемого объекта N_o в течение интервала контроля t_n , (в [1] $t_n=2$ с); (величина N_o пропорциональна средней скорости счета аддитивной смеси сигнала и фона n , полученной за время t_n нахождения объекта контроля в поле зрения детектора — $N_o=n \cdot t_n$).
- вычисляют порог $q = b \cdot t_n + m \sigma$, где $\sigma = (N_b)^{1/2}$ — среднеквадратическое отклонение (с.к.о.) величины N_b ; m — число, равное количеству с.к.о. (обычно устанавливают $m \geq 4$); $b = N_b/t_b$ — средняя скорость счета фона.
- полученное N_o сравнивают с порогом q ; если $N_o > q$, то принимают решение об обнаружении искомого источника (включают световой или звуковой сигнал «тревоги»); в противном случае принимают решение об отсутствии источника ИИ. В случае необнаружения ИИ никаких сигналов не генерируют и поиск продолжают.

Основным недостатком описанного способа поиска и обнаружения [1] является жесткость задаваемых порогов обнаружения источника ИИ, что не позволяет получить низкие пороги обнаружения при одновременном обеспечении допустимой (задаваемой) вероятности ложных тревог, и тем более не позволяет работать в условиях нестационарного фона.

Способ обнаружения, используемый в дозиметре-радиометре типа ДРБП-03 (ВНИИФТРИ, г. Москва) [2], построен на применении еще более жесткого порога обнаружения, чем используемый в [1]; в нем даже количество среднеквадратических отклонений (с.к.о.) m не регулируется и всегда равно $m = 4$. Это приводит к необоснованному завышению порогов обнаружения и к увеличению вероятности пропуска слабого источника ИИ при прочих равных условиях. Аналогичен способ поиска и обнаружения слабых источников ИИ в радиометре-дозиметре МКС-06Н «Инспектор» (производство ТОО «Грин Стар» г. Москва) [3]. Способ поиска и обнаружения, используемый в переносных приборах МКС-А02 (производство НПЦ «Аспект», г. Дубна) [4], совершенно такой же, как и описанный выше способ, применяемый в дозиметрах-радиометрах [1], и обладает теми же недостатками.

Известны способы обнаружения источников ИИ [5], в которых используются некоторые основные положения и выводы из теории обнаружения [6-8]. Однако в [5] упо-

мянутые положения используются недостаточно последовательно и точно, и потому также приводят к завышению порогов обнаружения.

В соответствии с теорией обнаружения [6-8], в условиях полной априорной неопределенности (т.е. когда об обнаруживаемом объекте нет информации ни о наличии-отсутствии на нем источника ИИ, ни о величине сигнала от источника ИИ) в обнаружителе может и должен использоваться только критерий Неймана-Пирсона, являющийся наиболее мощным критерием. Последнее означает, что применение критерия Неймана-Пирсона позволяет получить наибольшую теоретически возможную вероятность обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги.

Вторым важнейшим положением теории обнаружения, которое должно использоваться при инженерной реализации теории, является необходимость вычисления отношения правдоподобия. Для практических целей удобнее использовать эквивалентное упомянутому отношению правдоподобия выражение для достаточной статистики η [6], которое в обсуждаемом конкретном случае обнаружения слабых потоков ИИ принимает вид

$$\eta = \frac{(n-b)}{\sqrt{\frac{n}{t_n} + \frac{b}{t_b}}}, \quad (1)$$

где все обозначения совпадают с введенными выше (в разделе с описанием аналога – дозиметра ДРС-РМ1401 [1]).

По физическому смыслу величина η представляет собой относительное (или «нормализованное») значение средней скорости счета сигнала от обнаруживаемого источника $a = n-b$ (иначе: величина η – это относительное значение сигнала, представленное в таком виде, когда дисперсия сигнала равна единице).

Полученное значение η сравнивают с порогом q_0 , значение которого зависит от заданной оператором вероятности ложной тревоги $P_{лт}$ и определяется из таблиц нормального закона распределения.

В способе поиска и обнаружения, описанном в [5], применяется критерий Неймана-Пирсона (по утверждению авторов), однако порог обнаружения вычисляется не с помощью достаточной статистики (1), а в виде

$$q = b \cdot t_n + m \cdot \sigma, \quad (2)$$

где $\sigma = (N_b)^{1/2}$ – среднееквадратическое отклонение величины N_b , равной количеству импульсов, зарегистрированных за время измерения уровня фона t_b .

Очевидно, что описанный способ почти не отличается от [1], за исключением того, что значения t_b и t_n могут устанавливаться (регулироваться) в зависимости от требуемой точности и ограничений на время измерения. Причем, определение порога по (2) приводит к существенному завышению минимального обнаруживаемого сигнала по сравнению с теорией, т.е. по сравнению с (1), поскольку количество с.к.о. m в (2) устанавливается на основе опыта работы или по интуиции (обычно $m > 4$), а не на основе строго задаваемых параметров обнаружения и теории обнаружения.

В известном «Способе мониторингирования перемещающихся объектов на предмет обнаружения делящихся ядерных материалов» [9] в основном используются соотношения в соответствии с теорией обнаружения [6-8], причем для формирования порога обнаружения, вычисляемого по заданной вероятности ложных тревог, применяются поправки на Пуассоновскую статистику, что особенно важно при малых скоростях счета. Однако и здесь основные положения теории обнаружения применены не совсем строго.

Известен также способ обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений [10], который полностью и строго базируется на теории обнаружения [6-8] и сводится к следующей последовательности операций:

- перед началом контроля объектов определяют порог q_0 в соответствии с задаваемой оператором вероятностью ложных тревог по таблицам для нормального распределения;
- измеряют среднюю скорость счета b , обусловленного фоновым излучением, причем время измерения фона t_b может быть любым большим и определяется оперативной обстановкой либо вводится оператором;
- прибор переключают в режим оперативного контроля, т.е. измеряют количество импульсов излучения от контролируемого объекта N_o в течение интервала контроля t_n , задаваемого оператором; вычисляют среднюю скорость счета аддитивной смеси сигнала и фона $n=N_o/t_n$;
- определяют значение параметра η по (1);
- полученное значение параметра η сравнивают с порогом q_0 . Если $\eta > q_0$, то принимают решение об обнаружении (включается световой или звуковой сигнал «тревоги»); в противном случае принимают решение о необнаружении (об отсутствии источника), которое фиксируют в отчете по процедуре проведения контроля.

Описанные выше способы [5, 9, 10] не пригодны для задач поиска; они могут использоваться именно и только для задач обнаружения источников ИИ на контролируемых объектах. Очевидно, что при контроле объектов на предмет обнаружения источников ИИ первым ключевым моментом является то, что фон измеряют заранее, т.е. тогда, когда объект контроля отсутствует в зоне чувствительности детектора. Второй ключевой момент заключается в следующем: оператору всегда точно известно, присутствует ли контролируемый объект в зоне контроля (для этого используются так называемые «датчики присутствия», либо оператор сам непосредственно видит объект контроля и в нужный момент времени нажимает кнопки «старт» и «стоп»). Причем время контрольного замера излучения от объекта соответствует значению, равному времени нахождения объекта в зоне чувствительности детекторов. А для принятия решения о наличии либо отсутствии ИИ на объекте в способах типа [5, 9, 10] результат измерений излучения от объекта прямо или косвенно сравнивается с заранее измеренным уровнем фона.

При проведении поиска складывается существенно иная постановка задачи: в общем случае при поиске всегда не известно, присутствует или нет слабый источник ИИ в зоне чувствительности детектора. При проведении поиска требуется непрерывно, в течение длительного времени, достигающим 3-10 часов, при перемещении аппаратуры с детекторами измерять излучение, и из полученных результатов таких непрерывных измерений каким-то образом извлекать информацию для принятия решения о наличии либо отсутствии источника ИИ в зоне поиска. В такой постановке задачи способы [5, 9, 10] в принципе не пригодны.

Кроме того, важно добавить, что все описанные выше способы [1-5, 9, 10] не пригодны для решения задачи поиска в условиях, когда фон является существенно нестационарным. Как показывают результаты практических исследований фона на длительных интервалах времени [11-13], уровень фона, измеряемый с интервалами усреднения порядка 100 – 300 с, может изменяться со скоростями порядка $10 \cdot (\text{с.к.о.})$ за 20 – 30 мин., а за 2 – 3 часа (за время проведения поиска) «уплывать» по абсолютной величине на 50% и более. Если для задач радиационного контроля объектов проблема адаптации к флуктуациям среднего уровня фона может решаться довольно просто (в пределе, в самых неблагоприятных условиях – путем измерения уровня фона перед контролем каждого нового объекта), то в задачах поиска проблему адаптации к изменениям фона

решить непросто. Здесь совершенно неприемлем такой, например, прием: выходить из зоны поиска каждые 15–20 мин для уточнения уровня фона. Поэтому чаще прибегают к единственно возможной в указанных условиях мере – к способу завышения (загрубления) порогов обнаружения.

Известны способы для поиска и обнаружения радиоактивных объектов, используемые в устройствах типа [14] и относящиеся к области радиационного мониторинга. Эти способы могут быть использованы для поиска и обнаружения радиоактивных объектов на местности, а также пространственного распределения радиоактивных источников при ядерно-физическом каротаже скважин. Однако указанные способы и соответствующие им устройства [14] близки к заявляемому только по названию; по сути они обязательно предполагают применение множества стационарных постов со сложными устройствами радиационного контроля, снабженными коллиматорами. Обзорное описание указанной группы способов и устройств, предназначенных для непрерывного радиационного мониторинга местности вокруг АЭС и для оперативного мониторинга в случае аварии, приведено в [13]. Очевидно, что указанная группа устройств [13,14] к обсуждаемым задачам поиска источников ИИ не имеет отношения.

Известна также группа устройств, предназначенных для обнаружения источников ИИ и делящихся материалов на подвижных объектах. Например, системы «Янтарь-1А» [15] для контроля проезжающих автомобилей, (и другие аналогичные системы, описанные на сайте научно-производственного центра «НПЦ Аспект»), в которых используется способ обнаружения по [9], проанализированный выше. Однако все устройства типа [15], а также и устройства [13, 14] являются стационарными; для поиска же, как отмечалось выше, в принципе требуется передвижная (или носимая) аппаратура с детекторами ИИ.

Следует сослаться и на обзор [16], где подробно описаны несколько различных способов обработки данных радиационных мониторов. В обзоре [16] фактически описаны все способы обнаружения источников ИИ, приведенные нами выше (в том числе и способ авторов настоящей заявки [10]). Однако в [16] рассмотрены только случаи использования неподвижных устройств радиационного контроля (именно последние и обозначаются у специалистов термином «радиационные мониторы»), и совершенно не затронуты задачи поиска ИИ средствами подвижных (мобильных) устройств радиационного контроля.

Наиболее близким к заявляемому является способ поиска и обнаружения ИИ, описанный в [17]. Способ, предложенный в [17], заключается в выполнении следующей последовательности операций. Сразу по прибытии в зону поиска детектирующей системы, начинают измерять среднюю скорость счета аддитивной смеси сигнала и фона $n(t)$ на участках времени экспозиции (интервалах времени) $t_{эксн}$, длительность каждого из которых одинакова и составляет предпочтительно $(8-15) \cdot t_e$, где t_e представляет собой эффективную длительность сигнала.

По окончании интервала экспозиции №1 длительностью $t_{эксн}$ из значений вектора $n_1(t)$, измеренного на интервале №1, определяют величины средней скорости счета фона b , амплитуды сигнала a_m и положения максимума сигнала на шкале времени t_m .

Вычисляют значение параметра η по формуле:

$$\eta = \frac{a_m}{\sqrt{\frac{a_m + b}{t_e} + \frac{b}{t_{эксн} - 2t_e}}} \quad (3)$$

Полученное значение параметра η сравнивают с порогом обнаружения q_o , определяемым по заданной вероятности ложных тревог. Если $\eta > q_o$, то принимают решение

об обнаружении (о положительном результате поиска источника ИИ на интервале № 1); в противном случае принимают решение об отсутствии сигнала. Параллельно с процедурой обработки реализации $n_1(t)$ продолжают дальнейшие измерения значений $n(t)$. По окончании интервала № 2 вектор $n_2(t)$ подвергают обработке, точно такой же, как описано в п.п. 2-4. Далее последовательно повторяют действия по п.п. 1-5 для интервалов №№ 3, 4, 5 и т.д. вплоть до завершения поиска на заданной территории.

Эффективная длительность сигнала определяется из соотношения $t_e = k_t \cdot r_o / v_o$, где r_o – кратчайшее расстояние между детектором и ожидаемой точкой размещения искомого источника ИИ; v_o – средняя скорость движения детектирующей системы; k_k – коэффициент, значение которого определяется конструкцией детектора (для плоского детектора $k_k = 2,0$; для всенаправленного детектора $k_k = 2,8$).

Способ [17] обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с описанными выше [1–5, 9–16], главные из которых таковы:

- возможность проведения поиска источников ИИ с помощью подвижной детектирующей системы в условиях существенно нестационарного фона;
- возможность достижения наибольшей вероятности обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги, т.е. возможность достижения низких порогов обнаружения, близких к теоретически предельным [6–8] для заданных параметров обнаружения.

Однако нельзя не отметить один важный недостаток, характерный для описанного способа [17], который заключается в следующем.

Поскольку значению эффективной длительности сигнала t_e , зависящему от ожидаемого расстояния r_o , заранее присваивают некоторую жесткую величину, то вероятность пропуска полезного сигнала весьма велика. Действительно, расстояние r_o от детектирующей системы до искомого источника ИИ в большинстве реальных случаев выполнения поиска априори не известно. Поэтому, задавая заранее некоторое одно жесткое значение предполагаемого расстояния r_o (и соответствующее значение t_e), мы рискуем с большой вероятностью пропустить (не обнаружить) источник.

Можно объяснить указанный недостаток способа [17] иначе, используя понятие оптимальной фильтрации [18]. Анализ показывает, что способ [17] (а конкретнее – способ обработки вектора $n(t)$ по пунктам 1-2, описанным выше) можно считать эквивалентным способу использования оптимального цифрового фильтра, на выходе которого получают максимально возможное (по сравнению с любыми иными устройствами) отношение сигнал/шум. Задавая заранее, перед началом поиска, некоторое жесткое значение t_e , соответствующее расстоянию r_o , мы тем самым «настраиваем оптимальный фильтр» только на одно значение расстояния r_o . А если в реализации $n(t)$ имеется сигнал, соответствующий другому (например, втрое большему) расстоянию, то такой сигнал с большой вероятностью будет пропущен.

Предлагаемым изобретением решаются задачи уменьшения вероятности пропуска полезного сигнала (и, соответственно – источника ИИ) и повышения точности оценки местоположения обнаруженного источника.

Для решения названных задач в заявляемом способе поиска, обнаружения и оценки местоположения источников ИИ, если формулировать предельно кратко, предлагается за основу взять способ-прототип [17], дополнив его в части обработки вектора $n(t)$ операциями последовательного перебора значений t_e . Т.е. последовательно увеличивают t_e в $(1,3 \pm 0,1)$ раза от минимального $t_{e1} = 4 \cdot t_\delta$, далее $t_{e2} = 6 \cdot t_\delta$, $t_{e3} = 8 \cdot t_\delta, \dots, t_{ej}$, и т.д. до максимального значения $t_{e(Max)} \leq 100$ с, (где t_δ – интервал времени дискретизации вектора $n(t)$). Для каждого t_{ej} вычисляют параметр η_j по (3), и для того из значений $t_{ej} = t_{em}$, для которого параметр η_j принимает максимальное значение η_m , вычисляют значение оценки искомого расстояния между детектором и источником ИИ по формуле

$$R^* = k_k \cdot v_o \cdot t_{em}, \quad (4)$$

где k_k равно 2,0 – 2,8 в зависимости от конструкции детектора.

Примечание. Здесь и ниже используются обозначения, принятые и расшифрованные в описании способа-прототипа [17].

Если предлагаемый способ поиска, обнаружения и оценки местоположения источников ИИ описывать более подробно, то он заключается в выполнении следующей последовательности операций.

Сразу по прибытии в зону поиска детектирующей системы, в ходе непрерывного перемещения последней, начинают измерять среднюю скорость счета аддитивной смеси сигнала и фона $n(t)$. Причем вектор $n(t)$ разбивают на участки времени экспозиции (интервалы времени) $t_{эксн}$, длительность каждого из которых одинакова и составляет предпочтительно $(8 - 15) \cdot t_e$, где t_e представляет собой эффективную длительность сигнала.

На первом этапе обработки величину t_e назначают равным некоторому минимальному значению $t_{e(min)} = t_{e1} = 4 \cdot t_d$, где t_d – интервал времени дискретизации вектора $n(t)$. Указанное значение t_{e1} ограничивается условиями дискретизации полезного сигнала на шкале времени $a(t)$ (анализ показывает, что минимум соответствует 4-м точкам дискретизации сигнала $a(t)$). Сам интервал времени дискретизации t_d , как показывает практический опыт разработки аппаратуры радиационного контроля, может быть равным значениям от 0,1 до 1,0 с.

Примечание: для упрощения описания здесь и ниже предполагается, что на трассе поиска имеется только один источник ИИ.

Далее последовательность обработки вектора $n(t)$ не отличается от описанной выше в п.п. 2-7 способа-прототипа [17], а именно:

- по окончании интервала экспозиции №1 длительностью $t_{эксн1}$ из значений вектора $n_1(t)$, измеренного на интервале №1, определяют величины средней скорости счета фона b , амплитуды сигнала a_m и положения максимума сигнала на шкале времени t_m .
- вычисляют значение параметра η по формуле (3).
- полученное значение параметра η сравнивают с порогом обнаружения q_o , определяемым по заданной вероятности ложных тревог. Если $\eta > q_o$, то принимают решение об обнаружении (о положительном результате поиска источника ИИ на интервале № 1); в противном случае принимают решение об отсутствии сигнала.
- параллельно с процедурой обработки реализации $n_1(t)$ продолжают дальнейшие измерения значений $n(t)$.
- по окончании интервала № 2 вектор $n_2(t)$ подвергают обработке, точно такой же, как описано в п.п. 2-4.
- далее последовательно повторяют действия по п.п. 1-5 для интервалов №№ 3, 4, 5 и т.д. вплоть до окончания вектора $n(t)$.

На 2-м, 3-м и т.д. этапах обработки значения t_e последовательно увеличивают в $(1,3 \pm 0,1)$ раза, и для каждого нового значения $t_{e2} = 6 \cdot t_d$, $t_{e3} = 8 \cdot t_d, \dots, t_{ej}$, и т.д. повторяют обработку вектора $n(t)$ в соответствии с п.п. 2-7. Указанную процедуру повторяют до тех пор, пока t_{ej} не достигнет максимального значения $t_{e(Max)} \leq 100$ с.

В результате выполнения всех этапов обработки, если имеются факты обнаружения сигнала, получают ряд значений параметра η_j , соответствующих значениям эффективной длительности t_{ej} .

Для того из значений $t_{ej} = t_{em}$, для которого параметр η_j принимает максимальное значение η_m , вычисляют значение оценки искомого расстояния между детектором и ис-

точником ИИ по формуле (4), причем значение коэффициента k_k выбирают равным 2,0 для плоской конструкции детектора, и $k_k = 2,8$ для всенаправленного детектора.

При обработке вектора $n(t)$ в предлагаемом способе, как и в прототипе [17], целесообразно обеспечить такой режим, при котором каждый последующий $(i+1)$ -й интервал длительностью $t_{\text{экл}}$ накладывался на предыдущий i -й интервал на величину $2t_e$. Таковое перекрытие необходимо для случаев, когда сигнал расположен на краю интервала $t_{\text{экл}}$.

Из описания предлагаемого способа видно, что поскольку осуществляется «пересбор» всех реально возможных значений t_e , и соответственно, расстояний r_o , то вероятность пропуска полезного сигнала существенно снижается по сравнению с прототипом [17]. (Безусловно, здесь обсуждаются только задачи обнаружения слабых сигналов, для которых отношение сигнал/фон $\leq 0,1$).

По вопросу повышения точности определения расстояния до обнаруженного источника ИИ по сравнению с прототипом [17] следует отметить следующее. В прототипе [17] при движении по трассе детектирующей системы можно было определить только положение линии, перпендикулярной участку трассы, на которой может находиться обнаруженный источник ИИ. Расстояние же от трассы до источника ИИ по [17] определялось с весьма большой погрешностью, превышающей $\pm 80\%$, (а иногда, при больших сигналах, достигающей 200 – 300 %).

При использовании предлагаемого способа, как показывает анализ и модельные проверочные эксперименты, указанная погрешность определения расстояния между детектором и источником ИИ (погрешность значения R^*) не превысит 40 %.

Таким образом, полученное значение расстояния R^* и координаты точки нахождения детектирующей системы, соответствующей моменту обнаружения, позволяют однозначно указать местоположение источника ИИ, поскольку источник ИИ находится на линии, перпендикулярной трассе, по которой перемещается детектирующая система. Очевидно также, что упомянутые координаты «точки обнаружения» на трассе определяются с помощью современной спутниковой навигационной системы (GPS или ГЛОНАСС), работа которой синхронизируется с работой детектирующей системы средствами прикладного программного обеспечения.

Предложенный способ обладает дополнительными преимуществами в сравнении с аналогами и прототипом.

1. В описываемом способе поиска и обнаружения использовано предположение о том, что на длине отрезка контролируемой зоны поиска может находиться только один точечный источник ИИ. Такое предположение принято для упрощения описания способа. Однако реально на трассе контроля может находиться несколько точечных источников ИИ. Учитывая, что в большинстве практических случаев трасса контроля оказывается достаточно протяженной, и источники сильно разнесены, предлагаемый способ может быть применен и для упомянутого случая поиска нескольких источников ИИ без существенных дополнительных усложнений. Для каждого из обнаруженных источников предлагаемый способ позволяет определить свое расстояние R^* от трассы, по которой перемещается детектирующая система.

2. Предложенный способ пригоден и для работы в режиме контрольно-пропускного пункта, особенно когда обследуется большое число транспортных средств и очень длинные фуры.

Формула изобретения

Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений с использованием перемещаемых по территории (зоне) поиска ионизационных счетчиков или сцинтилляционных детекторов, заключающийся в непрерывном измерении средней скорости счета аддитивной смеси сигнала и фона $n(t)$ в процессе движения детектирующей системы по обследуемой территории, обработке полученной измерительной информа-

ции путем разбиения вектора $n(t)$ на участки времени экспозиции $t_{экс}$, длительность каждого из которых одинакова и составляет предпочтительно $(8 - 15) \cdot t_e$, определении значения средней скорости счета фона b , амплитуды предполагаемого сигнала a_m и положения сигнала t_m на шкале времени, далее вычислении параметра η по формуле

$$\eta = \frac{a_m}{\sqrt{\frac{a_m + b}{t_e} + \frac{b}{t_{экс}} - 2t_e}} \quad (1),$$

где t_e – эффективная длительность сигнала, сравнении η с порогом q_0 , определяемым по заданной вероятности ложных тревог, и принятии решения об обнаружении искомого объекта в случае, если $\eta > q_0$, отличающийся тем, что обработку полученной измерительной информации осуществляют путем последовательного увеличения эффективной длительности сигнала t_e в $(1,3 \pm 0,1)$ раза от минимального $t_{e1} = 4 \cdot t_0$, далее $t_{e2} = 6 \cdot t_0$, $t_{e3} = 8 \cdot t_0$, ... и т.д. до максимального значения $t_e \leq 100$ с, (где t_0 – интервал времени дискретизации вектора $n(t)$), вычисления параметра η_j по (1) для каждого значения t_{ej} , и для того из значений $t_{ej} = t_{em}$, для которого параметр η_j принимает максимальное значение η_m , вычисления значения оценки искомого расстояния между детектором и источником ИИ по формуле

$$R^* = k_k v_0 t_{em} \quad (2),$$

где v_0 – средняя скорость перемещения детектирующей системы, а коэффициент k_k равен 2,0 – 2,8 в зависимости от конструкции детектора.

Литература

1. Дозиметр поисковый микропроцессорный ДРС-РМ1401. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Минск: СП Полимастер, 1997.
2. Дозиметр-радиометр ДРБП-03. Паспорт ГКПС 14.00.00.000 ПС. - М.: ВНИИФТРИ, 1996.
3. Радиометр-дозиметр МКС-06Н INSPECTOR. Паспорт. - М.: ТОО «Грин Стар», 1996.
4. МКС-А02. Руководство по эксплуатации. ДКЦИ.411168.002 РЭ. /г. Дубна Московской обл.: НПП Аспект, 2000 г., 19 с.
5. Кириллов В. М., Супрунов В. И. Обнаружение движущихся источников ионизирующих излучений. Измерительная техника. - 1994. N 8, с. 63.
6. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 1. - М.: Сов. радио, 1972, 744 с.
7. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. - М.: Радио и связь, 1982, 624 с.
8. Закс Ш. Теория статистических выводов. - М.: Мир, 1975, 776 с.
9. Способ мониторингирования перемещающихся объектов на предмет обнаружения делящихся ядерных материалов. // Горев А. В., Зайцев Е. И., Иванов А. И. Патент № 2150127 от 27.05.2000.
10. Способ обнаружения слабых потоков ионизирующих излучений. // Викторов Л. В., Крузалов А. В., Шеин А. С., Шульгин Б. В., Шульгин Д. Б. Патент РФ № 2140660. от 27.10.1999.
11. Статистические характеристики флуктуаций гамма- и нейтронного фона. Андреев В. С., Викторов Л. В., Петров В. Л., Шеин А. С. VI Международное совещание «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии». Тезисы докладов. М.: 2002. с.32.

12. Викторов Л. В., Могильникова Ю. А. Вариации нейтронного поля Земли. // В сб.: "Проблемы спектроскопии и спектрометрии". Екатеринбург. УГТУ. 2000. С.95-104.
13. Хазанов Д. Б. Построение систем оценки радиационной обстановки в районе расположения АЭС. (Обзор). // Ядерное приборостроение. (Вопросы атомной науки и техники). Вып.2. 1985. С.3.
14. Устройство для поиска и обнаружения радиоактивных объектов. // Мухин В. И., Муслимов Р. Х., Самосадный В. Т. Патент РФ № 2160909 от 12.20.2000.
15. Стационарная таможенная система обнаружения делящихся и радиоактивных материалов «Янтарь-1А». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ДКЦИ.425713.004 ТО. 1997. (г. Дубна Московской обл. НПЦ «Аспект»).
16. Обзор отечественных радиометрических и спектрометрических систем, которые могут быть использованы для целей учета и контроля ядерных материалов. // ФГУП ВНИИА им. Н. Л. Духова // на сайте: <http://www.vniia.ru/rgamo/literat/obzor/doc/obzorrus.pdf>.
17. Способ поиска и обнаружения источников ионизирующих излучений / Викторов Л. В., Ивановских К. В., Лазарев Ю. Г., Петров В. Л., Шеин А. С., Шульгин Б. В. // Патент РФ №2242024 от 10.12.2004.
18. Лезин Ю. С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов. М.: Сов. Радио, 1963, 278 с.

Ряд новых патентных разработок последних лет приведен ниже.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2500461

СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ

Патентообладатель(и): *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012109189

Приоритет изобретения **11 марта 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **10 декабря 2013 г.**

Срок действия патента истекает **11 марта 2032 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU (11) 2 500 461 (13) C2

(51) МПК
B01D 59/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012109189/05, 11.03.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.03.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.03.2012

(43) Дата публикации заявки: 20.09.2013 Бюл. № 26

(45) Опубликовано: 10.12.2013 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2331463 C2, 20.08.2008. RU 2172642 C,
27.08.2001. RU 2321544 C2, 10.04.2008. US
4167244 A, 11.09.1979.

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
центр интеллектуальной собственности, Т.В.
Маркс

(72) Автор(ы):

Гадельшин Вадим Маратович (RU),
Шульгин Борис Владимирович (RU),
Палкин Валерий Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

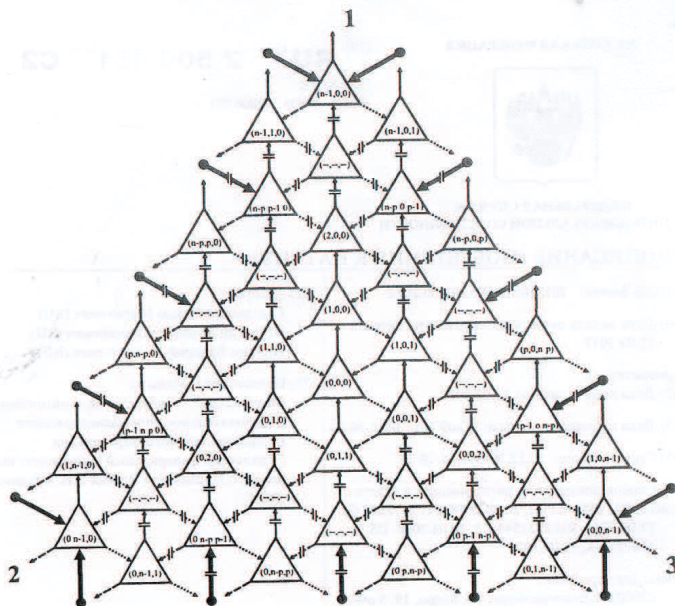
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина"
(RU)

(54) СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу
разделения изотопов и может быть
использовано для получения требуемых
концентраций изотопов и для обогащения
различных стабильных и радиоактивных
изотопов. Способ разделения изотопов с
использованием разделительного каскада,
содержащего трехкомпонентные
разделительные ступени, способные разделять
многокомпонентную смесь на три части в
одном акте разделения, имеющего потоки
отбора выделяемых компонент и один или
несколько потоков питания разделительного
каскада, так что поток отбора по
произвольному компоненту разделительной

ступени разделительного каскада поступает на
питание ступени, имеющей количество
обогащений по соответствующему этому
потoku отбора компоненту на единицу больше,
при равных обогащениях по другим
компонентам, причем, реализуя в каскаде
последовательно три акта обогащения по
разным компонентам, начиная с произвольной
разделительной ступени, последний поток
отбора поступает на питание этой ступени.
Изобретение обеспечивает увеличение
производительности разделительного
производства и снижение стоимости
получаемой изотопной продукции. 5 з.п. ф-лы,
5 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к атомной, медицинской и другим отраслям промышленности и может быть использовано для получения требуемых изотопов, выделяемых из многокомпонентной смеси, для решения задач по обогащению различных стабильных и радиоактивных изотопов, для решения задач по дообогащению регенерированного топлива АЭС, а также для получения редких и дорогостоящих изотопов необходимых для ядерной медицины и т.п.

Большинство современных способов разделения изотопов и связанных с ними разработок многокомпонентных разделительных каскадов сводятся к стандартным схемам и методам, в которых используются трехпоточные разделительные элементы с одним входом - питанием и двумя выходами - отбором, обогащенным целевым компонентом, и отвалом, обедненным целевым компонентом. Их комбинация в противоточные каскады с использованием общего питания, отвала и отбора позволяет получить схему разделения многокомпонентной смеси, где на различных концах каскада получается обогащение крайних компонентов по молекулярной массе. Однако, разделительные каскады, построенные на таких элементах, требуют несколько циклов каскадного разделения для выделения изотопов с промежуточной молекулярной массой.

Известен способ разделения изотопов (Cohen K. The Theory of Isotope Separation as Applied to the Large Scale Production of U235. New York: McGraw-Hill, 1951. 165 p.), в котором предложены идеальные (без смешения потоков с различными концентрациями на входах в ступени) и прямоугольные каскады для разделения бинарных изотопных смесей. Однако известный способ не пригоден для разделения многокомпонентных изотопных смесей.

Известен способ разделения изотопов (De la Garza A., Garret G.A., Murphy J.E. Multicomponent Isotope Separation in cascades. Chem.Eng.Sci.:1961, v.15, p.188-209) с использованием разделительного каскада нового типа («R-каскад»), который характеризуется несмешением потоков с различными относительными концентрациями выбранных компонентов. Однако данный способ имеет существенный недостаток, так как «R-каскады» не обладают свойством оптимальности - они не обеспечивают минимальный суммарный поток питания ступеней. В известном способе также невозможно выделение всех изотопных компонентов в одном цикле разделения, поскольку «R-каскады» построены на трехпоточных элементах.

Известен способ разделения изотопов (Сазыкин А.А. Термодинамический подход к разделению изотопов. «Изотопы: свойства, получение, применение». Под редакцией В.Ю. Баранова. М.: ИздАТ, 2000. с.72-108), в котором предложены многокомпонентные квазиидеальные каскады, обобщающие «R-каскады». Разделительный каскад, основанный на данном способе разделения, обеспечивает одинаковые срезы парциальных потоков компонентов по всем ступеням. Однако такой каскад не обеспечивает минимальный суммарный поток питания ступеней. В данном способе также невозможно выделение всех изотопных компонентов в одном цикле разделения, поскольку предложенный каскад построен на трехпоточных элементах.

Известен способ разделения изотопов (Пат. №2331463 РФ. Способ разделения изотопов. В.Г. Афанасьев, В.В. Водолазских, П.М. Гаврилов, В.А. Журинов, А.Л. Калашиников, А.И. Колесников, В.М. Короткевич. МПК B01D 59/00, 59/20, заявл. 25.09.2006; опубл. 20.08.2008) с использованием промежуточного отбора в каскаде. Данный способ предусматривает применение в качестве метода разделения -

центрифугирование, что делает его зависимым от вида рабочего вещества и извлекаемого изотопа.

Известен способ разделения изотопов и разделительный каскад на его основе (Палкин В.А., Сбитнев Н.А., Фролов Е.С. Расчет оптимальных параметров каскада для разделения многокомпонентной смеси изотопов. «Атомная энергия», 2002 г., т.92, вып.2, с.130-133), которые предназначены для разделения многокомпонентных смесей, обеспечивающие минимальный суммарный поток питания ступеней для заданных внешних концентраций целевого изотопа. Однако известный способ и разделительный каскад на его основе не обладают возможностью выделения всех изотопных компонентов в одном цикле разделения, поскольку они используют трехпоточные разделительные элементы для построения каскада.

Наиболее близким к заявляемому изобретению является способ разделения трехкомпонентной смеси изотопов (Александров О.Е. Построение трехкомпонентного разделительного каскада. Сб. докладов, 14-й Международной научной конференции «Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул». Перспективные материалы, спец. выпуск №10. Звенигород, Россия, февраль, 2011, с.61-64), в котором предложена схема разделительного каскада, основанная на четырехпоточных разделительных элементах с одним входом и тремя выходами, в каждом из которых получается обогащение одного из компонентов.

Недостатком данного способа-прототипа является то, что в разделительном каскаде на его основе в разделительных ступенях происходит большое смещение потоков с разными концентрациями обогащенных компонентов, что приводит к потере работы разделения и как следствие, к снижению производительности каскада.

Задачей изобретения является разработка способа разделения изотопов трехкомпонентной смеси, который предполагает использование разделительного каскада на основе четырехпоточных элементов и в отличие от способа-прототипа обладает более высокой производительностью получения требуемых концентраций изотопов, и, соответственно, более низкой стоимостью изотопной продукции, за счет более рациональной схемы соединения ступеней в каскад, пригодный для различных типов применяемых методов разделения и видов извлекаемого изотопа.

Разделительным элементом разделительного каскада является наименьшая часть разделительной установки, в которой питающая этот элемент смесь разделяется на три «обогащенных фракции», в каждой из которых получается обогащение соответствующего концентрируемого компонента, при объединении двух других компонентов. Несколько разделительных элементов, соединенных параллельно, образуют разделительную ступень (единичный разделительный элемент также может являться разделительной ступенью). Во всех элементах одной ступени питающая смесь характеризуется одним и тем же изотопным составом, причем это справедливо и в отношении любой «обогащенной фракции». Требуемая концентрация выделяемых изотопов может достигаться путем последовательного соединения нескольких ступеней; в этом случае совокупность ступеней образует разделительный каскад.

Поставленная задача в заявляемом изобретении решается за счет того, что в способе разделения изотопов с использованием разделительного каскада, содержащего разделительные ступени, способные разделять многокомпонентную смесь на три части в одном акте разделения, имеющего потоки отбора выделяемых компонентов и один или несколько потоков питания разделительного каскада, поток отбора по произвольному компоненту разделительной ступени разделительного каскада (условно обозначенный - поток отбора «G») поступает на питание ступени,

имеющей количество обогащений по соответствующему потоку отбора «G» компоненту на единицу больше, при равных обогащениях по другим компонентам, причем, реализуя в каскаде последовательно три акта обогащения по разным компонентам, начиная с произвольной разделительной ступени (условно обозначенной - ступень «A»), последний поток отбора поступает на питание этой ступени «A».

При этом поток отбора по некоторому компоненту (условно обозначенный - компонент «K») крайней произвольной разделительной ступени (условно обозначенной - ступень «B»), который не является потоком отбора каскада и не соединен последовательно с другой ступенью, направляют на питание разделительной ступени (условно обозначенной - ступень «C»), поток отбора которой по другому компоненту (условно обозначенный - компонент «L») поступает на питание ступени «B».

При этом поток отбора по некоторому компоненту (условно обозначенный - поток отбора «G1») крайней произвольной разделительной ступени «B», который не является потоком отбора каскада и не соединен последовательно с другой ступенью, может быть направлен на питание разделительной ступени (условно обозначенной - ступень «D»), поток отбора которой по другому компоненту (условно обозначенный - поток отбора «G2»), который не является потоком отбора каскада и не соединен последовательно с другой ступенью, имеет такое же количество обогащений по любому из компонентов, как и поток отбора «G1», при этом поток отбора «G2» направляют на питание ступени «B».

При этом, если для потока отбора по некоторому компоненту «G1» крайней произвольной разделительной ступени «B», невозможно найти разделительную ступень «D», поток отбора которой по другому компоненту имеет такое же количество обогащений по любому из компонентов, как и поток отбора «G1», то поток отбора «G1» направляют на питание разделительной ступени (условно обозначенной - ступень «E»), поток отбора которой по другому компоненту поступает на питание ступени «B».

При этом поток отбора произвольной разделительной ступени (условно обозначенной - ступень «F»), полностью или частично может быть направлен на питание этой ступени «F».

При этом поток отбора разделительного каскада по произвольному компоненту (условно обозначенный - компонент «M») может быть направлен на питание дополнительной разделительной ступени (условно обозначенной - ступень «N»), которая становится крайней разделительной ступенью и приобретает все их свойства и принципы соединения, поток отбора по компоненту «M» дополнительной разделительной ступени «N» становится потоком отбора разделительного каскада по компоненту «M».

Разделительная ступень разделительного каскада, все потоки отбора которой поступают на питание ступеней, имеющих количество обогащений по соответствующему потоку отбора компоненту на единицу больше, при равных обогащениях по другим компонентам, условно называется разделительной ступенью внутри каскада. Разделительная ступень, хотя бы для одного потока отбора которой это не выполняется, условно называется крайней разделительной ступенью каскада или разделительной ступенью на «краю» каскада.

На Фиг.1 представлена схема возможного варианта разделительного каскада, основанного на предлагаемом способе разделения изотопов. На Фиг.2 представлен

принцип соединения между собою трехкомпонентных разделительных ступеней внутри разделительного каскада. На Фиг.3 поясняются различные варианты соединения крайних разделительных ступеней разделительного каскада, в соответствии с пунктами формулы. На Фиг.4 представлены известные схемы соединения: вверху - схема соединения каскада на основе прототипа, внизу - схема соединения каскада под условным названием «звезда». На Фиг.5 представлены таблицы результатов сравнения различных схем разделительных каскадов.

Основными элементами на Фиг.1 - Фиг.4 являются разделительные ступени, способные разделять многокомпонентную смесь на три части в одном акте разделения. Разделительные ступени на рисунках изображены условно в виде треугольников. Они соединены между собою потоками отбора, обогащенными по соответствующему компоненту, которые на схемах (здесь и ниже условимся, что выбор номера компонента произволен) обозначены стрелками следующим образом:

- стрелка со сплошной линией - поток отбора 1-го компонента;
- стрелка с пунктирной линией - поток отбора 2-го компонента;
- стрелка с линией в виде точек - поток отбора 3-го компонента;
- стрелка с жирной линией - поток «закрутки» (перенаправление потоков с крайних разделительных ступеней на другие).

Каждой разделительной ступени разделительного каскада присвоим свой «номер» (i, j, k) , где i - количество обогащений по 1-му компоненту, j - количество обогащений по 2-му компоненту, k - количество обогащений по 3-му компоненту (Фиг.1). Расчет показывают, что в каскаде со ступенями, соединенными по схеме, как на Фиг.1, могут приближенно выполняться условия несмещения потоков с различными концентрациями. Это означает, что относительные концентрации компонентов $R_N(i, j, k)$ ($N=1, 2, 3$ - номер компонента) в потоке питания (i, j, k) -у разделительной ступени можно представить в виде:

$$\begin{cases} R_1(i, j, k) = \alpha_{11}^i \cdot \alpha_{21}^j \cdot \alpha_{31}^k \cdot R_1(0, 0, 0), \\ R_2(i, j, k) = \alpha_{12}^i \cdot \alpha_{22}^j \cdot \alpha_{32}^k \cdot R_2(0, 0, 0), \\ R_3(i, j, k) = \alpha_{13}^i \cdot \alpha_{23}^j \cdot \alpha_{33}^k \cdot R_3(0, 0, 0), \end{cases} \quad (1)$$

где $R_1(0, 0, 0)$, $R_2(0, 0, 0)$, $R_3(0, 0, 0)$ - относительные концентрации компонентов в потоке питания разделительного каскада, которые могут быть выражены через массовые концентрации по известной формуле

$$R = \frac{c}{1 - c}.$$

Поток питания каскада подается в $(0, 0, 0)$ -ступень. Также могут быть реализованы дополнительные потоки питания в ступени с концентрацией, соответствующей концентрации дополнительного потока питания.

Величины α_{MN} - коэффициенты обогащения/обеднения по N-му компоненту в M-м потоке отбора, которые удобно записать в виде матрицы A_{MN} :

$$A_{MN} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В матрице A_{MN} по главной диагонали стоят коэффициенты обогащения компонентов в одноименных потоках. Все остальные элементы - коэффициенты обеднения компонентов (по определению, коэффициенты обогащения больше единицы, коэффициенты обеднения меньше единицы).

Необходимыми условиями, накладываемыми на эти коэффициенты и обеспечивающими выполнение условий несмещения, являются соотношения вида:

$$\alpha_{1i} \alpha_{2i} \alpha_{3i} = 1, \quad i = \overline{1,3}. \quad (3)$$

В наиболее простом случае заявленный способ разделения предполагает использование ступеней с одинаковыми коэффициентами обогащения α_{MM} , то есть $\alpha_{11} = \alpha_{22} = \alpha_{33} = \alpha$. При этом коэффициенты обеднения принимаются равными $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = \beta_1$ и $\alpha_{13} = \alpha_{21} = \alpha_{32} = \beta_2$. Отсюда условие (3) переходит в равенство:

$$\alpha \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 = 1 \quad (4)$$

или в случае $\beta_1 = \beta_2 = \beta$:

$$\alpha \cdot \beta^2 = 1. \quad (5)$$

Выполнение условий (3)-(5) при определении относительных концентраций по формулам (1), предполагающим также малое отличие коэффициентов α_{MN} от единицы, позволяет записать условия несмещения в виде:

$$\begin{aligned} R_1(i, j+1, k+1)_1 &= R_1(i+1, j, k+1)_2 = R_1(i+1, j+1, k)_3 = R_1(i, j, k), \\ R_2(i, j+1, k+1)_1 &= R_2(i+1, j, k+1)_2 = R_2(i+1, j+1, k)_3 = R_2(i, j, k), \\ R_3(i, j+1, k+1)_1 &= R_3(i+1, j, k+1)_2 = R_3(i+1, j+1, k)_3 = R_3(i, j, k), \end{aligned} \quad (6)$$

где $R_N(i, j, k)_M$ - относительная концентрация N-го компонента в M-м потоке отбора произвольной ступени.

Из (3)-(5) следует, что $R_N(i+1, j+1, k+1) = R_N(i, j, k)$ и что, если какое-то из чисел i, j или k меньше двух других из них, к примеру, $j < i, j < k$, то $R_N(i, j, k) = R_N(i-j, 0, k-j)$.

Фактически это означает, что это идентичные ступени: (i, j, k) -, $(i+1, j+1, k+1)$ - и $(i-j, 0, k-j)$ - ступени. Поэтому можно пронумеровать ступени в каскаде так, как показано на Фиг.1.

Проанализируем работу схемы разделительного каскада основанного на предлагаемом способе разделения (Фиг.1). При увеличении числа разделительных ступеней, влияние потоков «закрутки» будет практически отсутствовать внутри каскада, и останется лишь незначительное влияние на «краях» каскада. Сравним приведенную схему разделительного каскада с прототипом и схемой, под условным названием «звезда», в которой разделительные элементы соединены так, что, начиная со ступени питания отбор выбранного компонента, идет только в одном направлении; остальные потоки отбора возвращаются на питание предыдущей ступени (Фиг.4). Для сравнения схем зададим характеристики разделительной ступени в каскадах: коэффициенты деления потоков ступени равны $1/3$, коэффициенты обогащения $\alpha = 1,01$, коэффициенты обеднения $\beta_1 = \beta_2 = 0,995$. Абсолютные концентрации каждой из компонент в потоках питания каскадов равны между собой и равны $1/3$. Результаты сравнения представлены в виде двух таблиц на Фиг.5. Критериями для сравнения являются: $\sum G_i$ - суммарный поток в каскаде и $\alpha^q = \frac{R_n}{R_0}$ - коэффициент разделения

каскада относительно точки питания, где R_n - относительная концентрация выбранного компонента в потоке отбора каскада, R_0 - относительная концентрация выбранного компонента в потоке питания каскада, q - число обогащений в ступени на которой идет отбор выбранного компонента в каскаде (на Фиг.1 данное число указано в номере ступени - к примеру $(n-1, 0, 0)$ -ая ступень, т.е. для приведенной схемы $q = n-1$).

Как видно из первой таблицы, предлагаемый способ разделения по сравнению с

прототипом характеризуется большим значением коэффициента разделения и меньшим суммарным потоком (рост числа ступеней в прототипе увеличивает эффект от смешения потоков, снижая коэффициент разделения) при меньшем числе обогащений на отборе. При сравнении схемы разделительного каскада на основе предлагаемого способа разделения и схемы «звезда» также наблюдается большее значение коэффициента разделения и меньший суммарный поток. При увеличении числа ступеней также наблюдается большее значение коэффициента разделения, по сравнению с известными схемами, при значительном снижении суммарного потока. Это подтверждает эффективность и высокую производительность предлагаемого способа разделения.

Данный пример соединения разделительных ступеней в разделительном каскаде не исчерпывает всех возможностей предлагаемого способа разделения. При использовании других вариантов также наблюдается высокая эффективность разделения.

В зависимости от цели, отбор компонентов исходной смеси может осуществляться не на точках отбора каскада, а на других ступенях, либо могут быть также реализованы дополнительные отборы с произвольных ступеней.

Главными отличительными особенностями предлагаемого способа разделения изотопов с использованием разделительного каскада, являются описанные выше принцип соединения между собой разделительных ступеней внутри разделительного каскада (Фиг.2) и способы соединения крайних разделительных ступеней разделительного каскада (Фиг.3). Данные особенности обеспечивают увеличение производительности разделительного производства и снижение стоимости получаемой изотопной продукции.

Предлагаемый способ разделения изотопов с использованием разделительного каскада пригоден для различных методов разделения, и, например, может быть реализован в случае, когда в качестве технологии для разделительных элементов используется метод электромагнитного разделения изотопов.

Предлагаемый способ разделения изотопов с использованием разделительного каскада обеспечивает следующий технический эффект: увеличение производительности разделительного производства (благодаря разделению смеси изотопов сразу по трем компонентам) и, как следствие, снижение стоимости получаемой изотопной продукции.

Формула изобретения

1. Способ разделения изотопов многокомпонентной смеси с использованием разделительного каскада, содержащего трехкомпонентные разделительные ступени, способные разделять многокомпонентную смесь на три части в одном акте разделения, имеющего потоки отбора выделяемых компонент и один или несколько потоков питания разделительного каскада, отличающийся тем, что поток отбора по произвольному компоненту разделительной ступени разделительного каскада - поток отбора «G» - поступает на питание ступени, имеющей количество обогащений по соответствующему потоку отбора «G» компоненту на единицу больше, при равных обогащениях по другим компонентам, причем, реализуя в каскаде последовательно три акта обогащения по разным компонентам, начиная с произвольной разделительной ступени - ступени «А», последний поток отбора поступает на питание этой ступени «А».

2. Способ разделения изотопов многокомпонентной смеси по п.1, отличающийся

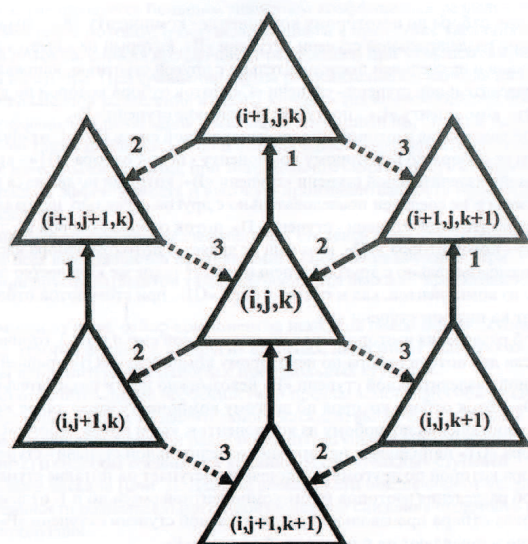
тем, что поток отбора по некоторому компоненту - компоненту «К» - крайней произвольной разделительной ступени - ступени «В», который не является потоком отбора каскада и не соединен последовательно с другой ступенью, направляют на питание разделительной ступени - ступени «С», поток отбора которой по другому компоненту - компоненту «L» - поступает на питание ступени «В».

3. Способ разделения изотопов многокомпонентной смеси по п.1, отличающийся тем, что поток отбора по некоторому компоненту - поток отбора «G1» - крайней произвольной разделительной ступени - ступени «В», который не является потоком отбора каскада и не соединен последовательно с другой ступенью, направляют на питание разделительной ступени - ступени «D», поток отбора которой по другому компоненту - поток отбора «G2», который не является потоком отбора каскада и не соединен последовательно с другой ступенью, имеет такое же количество обогащений по любому из компонентов, как и поток отбора «G1», при этом поток отбора «G2» направляют на питание ступени «В».

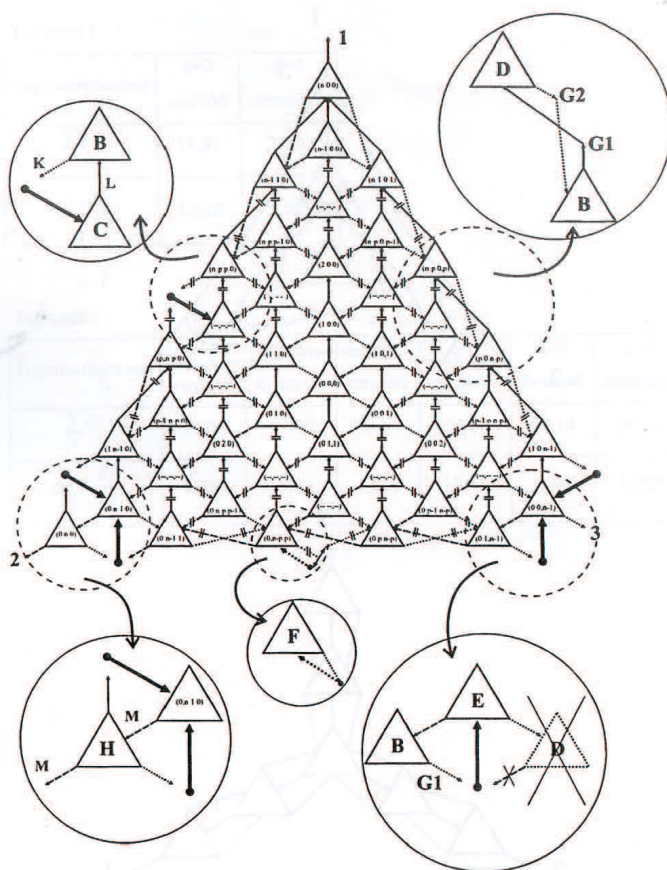
4. Способ разделения изотопов многокомпонентной смеси по п.3, отличающийся тем, что, если для потока отбора по некоторому компоненту «G1» крайней произвольной разделительной ступени «В» невозможно найти разделительную ступень «D», поток отбора которой по другому компоненту имеет такое же количество обогащений по любому из компонентов, как и поток отбора «G1», то поток отбора «G1» направляют на питание разделительной ступени - ступени «Е», поток отбора которой по другому компоненту поступает на питание ступени «В».

5. Способ разделения изотопов многокомпонентной смеси по п.1, отличающийся тем, что поток отбора произвольной разделительной ступени - ступени «F» полностью или частично направляют на питание этой ступени «F».

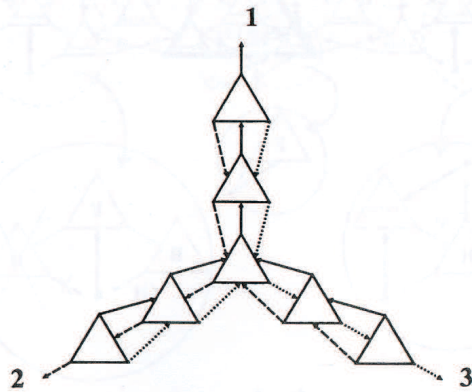
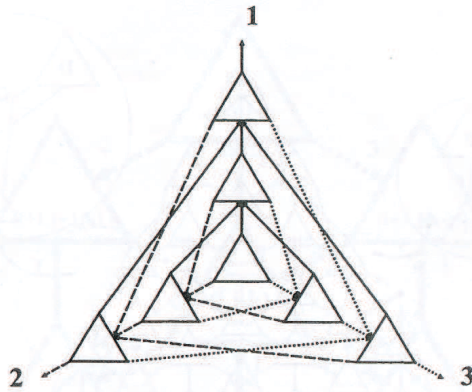
6. Способ разделения изотопов многокомпонентной смеси по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что поток отбора разделительного каскада по произвольному компоненту - компоненту «М» - направляют на питание дополнительной разделительной ступени - ступени «Н», которая становится крайней разделительной ступенью и приобретает все их свойства и принципы соединения, поток отбора по компоненту «М» дополнительной разделительной ступени «Н» становится потоком отбора разделительного каскада по компоненту «М».



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Таблица 1

Параметр/схема	q=3 способ	q=4 прототип
$\sum_i G_i$	18,82	22,00
$\alpha^q = \frac{R_n}{R_0}$	1,036	1,031

Таблица 2

Параметр/схема	q=3 способ	q=3 «звезда»	q=4 способ	q=4 «звезда»	q=5 способ	q=5 «звезда»
$\sum_i G_i$	18,82	19,00	38,74	48,00	67,14	109,00
$\alpha^q = \frac{R_n}{R_0}$	1,036	1,032	1,051	1,045	1,066	1,059

Фиг. 5

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2531044

РАБОЧЕЕ ВЕЩЕСТВО ОСЛ-ДЕТЕКТОРА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" (RU)*

Автор(ы): *с.м. на обороте*

Заявка № 2013117586

Приоритет изобретения **16 апреля 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **20 августа 2014 г.**

Срок действия патента истекает **16 апреля 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU⁽¹¹⁾

2 531 044⁽¹³⁾ C1

(51) МПК

G01T 1/11 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013117586/28, 16.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.04.2013

(45) Опубликовано: 20.10.2014 Бюл. № 29

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2445646 C2, 20.03.2012. RU
2449316 C2, 27.04.2012; . US 20100200741 A1,
12.08.2010; . EP 1712932 A1, 18.10.2006

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
Центр интеллектуальной собственности, Марк
Т.В.

(72) Автор(ы):

ШУЛЬГИН Борис Владимирович (RU),
БЕКТАШОВ Алмаз Сагындыкович (KG),
МОИСЕЙКИН Евгений Витальевич (RU),
МИЛЬМАН Игорь Игоревич (RU),
ВЛАСОВ Максим Игоревич (RU),
ИВАНОВ Владимир Юрьевич (RU),
КИДИБАЕВ Мустафа Мусаевич (KG),
ДЕНИСОВ Геннадий Степанович (KG),
ИЩЕНКО Алексей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Уральский
федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина" (RU)

(54) РАБОЧЕЕ ВЕЩЕСТВО ОСЛ-ДЕТЕКТОРА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области дозиметрии
ионизирующих излучений, а именно к области
оптически стимулированной люминесцентной
(ОСЛ) дозиметрии, связанной с разработкой и
применением рабочих веществ для ОСЛ-
детекторов, пригодных для регистрации
рентгеновского, гамма- и электронного
излучения, а также для регистрации тепловых
нейтронов. Сущность изобретения заключается
в том, что рабочее вещество ОСЛ-детектора для
дозконтроля в смешанных полях ионизирующих
излучений, включающее фторид натрия, хлорид

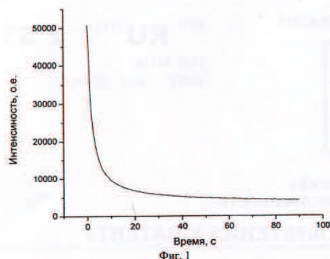
или фторид меди, дополнительно содержит
фторид лития ⁶LiF при следующем соотношении
компонентов (мол.%):

NaF	95,9-98,99
CuCl ₂ /CuF ₂	0,01-0,1
⁶ LiF	1-4

Технический результат - регистрация
рентгеновского, гамма- и электронного
излучения, а также регистрация тепловых
нейтронов. 3 ил., 2 табл.

RU 2531044 C1

RU 2531044 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к области дозиметрии ионизирующих излучений, а именно к области оптически стимулированной люминесцентной (ОСЛ) дозиметрии, связанной с разработкой и применением рабочих веществ ОСЛ-детекторов, пригодных для регистрации рентгеновского, гамма- и электронного излучения, а также для регистрации тепловых нейтронов.

Оптически стимулированная люминесценция (ОСЛ) является весьма перспективным методом регистрации рентгеновского, гамма-, электронного излучений, а также быстрых нейтронов и находит все большее применение в персональной дозиметрии [1-6].

Известно рабочее вещество ОСЛ-детектора на основе анион-дефектного корунда $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, находящее все более широкое распространение в ведущих дозиметрических лабораториях мира [1-6]. Известное рабочее вещество на основе анион-дефектного корунда $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ чувствительно к рентгеновскому, гамма- и бета-излучению [1-6]. Кривые затухания ОСЛ известного рабочего вещества имеют высокую начальную интенсивность I_0 , описываются суммой двух экспонент, обладают большой светосуммой S и малым временем t высвечивания светосуммы. Однако известное рабочее вещество ОСЛ детектора на основе анион-дефектного корунда обладает низкой эффективностью регистрации тепловых нейтронов из-за низкого сечения взаимодействия тепловых нейтронов с веществом $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, то есть информация о нейтронной составляющей в смешанных полях ионизирующих излучений не фиксируется при использовании известного детектора.

Известно рабочее вещество ОСЛ-детектора на основе нитрида алюминия AlN [7]. Известное рабочее вещество для ОСЛ-детектора на основе AlN чувствительно к бета-излучению источника $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$. Кривые затухания ОСЛ удовлетворительно описываются двумя экспонентами с большими постоянными времени затухания, равными соответственно 28,4 с и 234 с [7]. Однако известное рабочее вещество ОСЛ-датчика на основе AlN непригодно для регистрации тепловых нейтронов из-за низкого сечения взаимодействия тепловых нейтронов с веществом сенсорного ОСЛ-датчика и соответственно непригодно для осуществления дозконтроля в смешанных полях ионизирующих излучений.

Известно рабочее вещество ОСЛ-детектора на основе сульфида магния для регистрации гамма-излучения [8]. Однако известное рабочее вещество ОСЛ-детектора на основе сульфида магния непригодно для регистрации тепловых нейтронов из-за низкого сечения взаимодействия тепловых нейтронов с веществом сенсорного ОСЛ-датчика и соответственно непригодно для осуществления дозконтроля в смешанных полях ионизирующих излучений, поскольку информация о нейтронной составляющей такого поля не может быть получена с помощью известного сенсорного ОСЛ-датчика.

Наиболее близкими по составу для предлагаемого рабочего вещества ОСЛ-детектора являются известные рабочие вещества ОСЛ-детектора рентгеновского, гамма- и электронного излучения на основе как неактивированных кристаллов NaF , так и на основе активированных кристаллов NaF : 0,1 мол.% CuCl_2 , NaF : 0,3 мол.% CuF_2 [9].

Кривые затухания ОСЛ для этих кристаллов достаточно хорошо описываются суммой двух экспонент [9] в соответствии с уравнением (1):

$$I = I_0 + A_1 \cdot e_1^{-t/t_1} + A_2 \cdot e_2^{-t/t_2}, \quad (1)$$

где A_1 и A_2 - предэкспоненциальные множители, t_1 и t_2 - постоянные времени затухания. Общая светосумма определяется как результат сложения светосумм, обусловленных каждой из компонент затухания ОСЛ по формуле:

$$S \approx \sum A_k \cdot t_k \quad (2)$$

В Табл. 1 приведены данные по суммарной интенсивности, светосумме и времени регистрации послесвечения (интегрирования ОСЛ) для вышеупомянутых известных ОСЛ-рабочих веществ, облученных тестовой дозой рентгеновского излучения: $U=40$ кВ, $I=40$ мкА, время облучения 1 мин.

Таблица 1			
Параметры кривых ОСЛ кристаллов на основе NaF, NaF:0,1 мол.% Cu и NaF: 0,3 мол.% Cu, облученных тестовой дозой рентгеновского излучения			
Состав ОСЛ-сensors	Интенсивность I_0 , о.е.	Светосумма S , о.е.	Время интегрирования ОСЛ, с
NaF	41954	162095	15
NaF:0,1 мол.% Cu	50117	512123	45
NaF:0,3 мол.% Cu	47393	479033	40

Наибольшей интенсивностью ОСЛ и светосуммой, как видно из Табл. 1, обладают кристаллы NaF: 0,1 мол.% Cu. Однако известные ОСЛ-рабочие вещества чувствительны только к рентгеновскому, гамма- и электронному излучению. Они не чувствительны к тепловым нейтронам. Таким образом, недостатком известных рабочих веществ для ОСЛ-дозиметрии является их непригодность для регистрации тепловых нейтронов из-за низкого сечения взаимодействия тепловых нейтронов с веществом ОСЛ-датчика, соответственно известные ОСЛ-сенсоры непригодны для осуществления дозконтроля в смешанных полях ионизирующих излучений.

Задачей изобретения является разработка рабочих веществ ОСЛ-детекторов, чувствительных не только к рентгеновскому, гамма и электронному излучению, но и к тепловым нейтронам, то есть рабочих веществ, пригодных для осуществления дозиметрического контроля в смешанных с тепловыми нейтронами полях ионизирующих излучений.

Поставленная задача решается путем разработки нового рабочего вещества для ОСЛ-детектора на базе кристаллов NaF: $CuCl_2/CuF_2$, которое дополнительно содержит компоненту в виде фторида лития 6LiF , содержащего изотоп 6Li , чувствительный к тепловым нейтронам, что обеспечивает дозкон-троль в смешанных полях ионизирующих излучений.

Сущность изобретения состоит в том, что рабочее вещество ОСЛ-детектора для дозконтроля в смешанных полях ионизирующих излучений, включающее фторид натрия, хлорид или фторид меди, дополнительно содержит фторид лития 6LiF при следующем соотношении компонентов (мол.%):

NaF	95,9-98,99
$CuCl_2$ или CuF_2	0,01-0,1
6LiF	1-4

Предложенное рабочее вещество ОСЛ-детектора обеспечивает чувствительность детектора не только к рентгеновскому, гамма- и электронному излучению, но и к тепловым нейтронам. Кривые затухания ОСЛ для этих кристаллов приведены на Фиг. 1-3. Предложенное рабочее вещество ОСЛ-детектора имеет достаточно высокие рабочие характеристики, Табл. 2, обеспечивающие возможность его применения в дозиметрической практике. Начальная I_0 интенсивность ОСЛ для наиболее эффективных из предложенных составов, как показали сравнительные измерения, проведенные для

одних и тех условий возбуждения и оптической стимуляции, оказывается того же порядка что I_0 для ОСЛ-детекторов на основе анион-дефектного корунда. Для пограничных составов начальная I_0 интенсивность ОСЛ вполне достаточна для надежной регистрации излучения, Табл.2. Как показал анализ зависимости световыхода ОСЛ от содержания

меди, оптимальное содержание меди не должно заметно превышать 0,01 мол.%. Допустимо содержание меди до 0,3 мол.%, Табл.2. Увеличение содержания меди в предлагаемом светосоставе выше 0,3 мол.% ведет к уменьшению I_0 и S ниже допустимых пределов. Измеренные кривые ОСЛ для случая возбуждения образцов рентгеновским излучением ($U=40$ кВ, $I=40$ мкА, время облучения 1 мин), стимуляция белым светодиодом, приведены для образцов:

NaF: 1 мол.% ^6LiF , 0,01 мол.% CuF_2 на Фиг.1 (Пример. 1);

NaF: 2 мол.% ^6LiF , 0,1 мол.% CuF_2 на Фиг.2 (Пример 2);

NaF: 4 мол.% ^6LiF , 0,3 мол.% CuF_2 на Фиг.3 (Пример.3).

В качестве фотоприемника использовали ФЭУ-142. При облучении вышеуказанных ОСЛ-сенсоров электронами или гамма-излучением наблюдаются кривые ОСЛ, аналогичные кривым, приведенным на Фиг.1-3.

Таблица 2

№	Состав рабочего вещества для ОСЛ-детектора, мол.%	Интенсивность I_0 , о.е.	Светосумма S , о.е.	Время интегрирования ОСЛ, с
1	NaF: 1 ^6LiF , 0,01 CuF_2	50774	1579583	40
2	NaF: 2 ^6LiF , 0,1 CuF_2	17776	234154	10
3	NaF: 4 ^6LiF , 0,3 CuF_2	10309	204268	10

Аналогичные результаты получены для следующих образцов рабочих ОСЛ-веществ при облучении гамма- или электронным излучением:

NaF: 1 мол.% ^6LiF , 0,001 мол.% CuF_2 ;

NaF: 2 мол.% ^6LiF , 0,1 мол.% CuF_2 ;

NaF: 4 мол.% ^6LiF , 0,3 мол.% CuF_2 .

Пример 1. Рабочее вещество ОСЛ-детектора.

Вырастили по методу Киропулоса кристалл на основе NaF, с добавками (в мол.%)

^6LiF 1,0, CuF_2 0,01. Подготовили образец размерами $10 \times 10 \times 1$ мм и измерили характеристики ОСЛ, Табл.2, строка 1, для следующих условий облучения и стимуляции: возбуждение образцов проводили рентгеновским излучением ($U=40$ кВ, $I=40$ мкА, время облучения 1 мин), стимуляцию проводили с помощью светодиода СДК-С469-5-10. В качестве фотоприемника использовали фотозлектронный умножитель ФЭУ-142. Светосумма составила 1579583 о.е. Оказалось, что светосумма предлагаемого ОСЛ-рабочего вещества не уступает светосумме ОСЛ-сенсора на основе анион-дефектного корунда $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, эксперименты для которого были параллельно проведены с использованием того же оборудования.

После облучения образца NaF: 1 мол.% ^6LiF , 0,01 мол.% CuF_2 тепловыми нейтронами (использовались нейтроны от источника калифорний-252, замедленные до тепловых энергий) до флюенса порядка $10^5\text{-}10^7 \text{ см}^{-2}$, наблюдается ОСЛ на уровне 120000 о.е., что

достаточно для уверенной регистрации сигнала.

Пример 2. Рабочее вещество ОСЛ-детектора.

Вырастили по методу Киропулоса кристалл на основе NaF с добавками (в мол.%)

${}^6\text{LiF}$ 2,0 и CuF_2 0,1. Подготовили образец размерами $10 \times 10 \times 1$ мм и измерили характеристики ОСЛ, Табл. 2, строка 2, для тех же условий облучения и стимуляции, что и в примере 1: возбуждение образцов проводили рентгеновским излучением ($U=40$ кВ, $I=40$ мкА, время облучения 1 мин), стимуляцию проводили с помощью светодиода СДК-С469-5-10. В качестве фотоприемника использовали фотоэлектронный умножитель ФЭУ-142. Светосумма составила 234154 о.е., то есть уменьшилась в 6,75 раз. Уменьшение светосуммы связано с увеличением концентрации медной добавки.

После облучения образца NaF: 2 мол. % ${}^6\text{LiF}$, 0,1 мол. % CuF_2 тепловыми нейтронами (использовались нейтроны от источника калифорний-252, замедленные до тепловых энергий) до флюенса порядка 10^5 - 10^7 см $^{-2}$, наблюдается ОСЛ на уровне 60000 о.е., что достаточно для уверенной регистрации сигнала.

Пример 3. Рабочее вещество ОСЛ-детектора.

Вырастили по методу Киропулоса кристалл на основе NaF с добавками (в мол.%)

${}^6\text{LiF}$ 4,0 и CuF_2 0,3. Подготовили образец размерами $10 \times 10 \times 1$ мм и измерили характеристики ОСЛ, Табл. 2, строка 3, для тех же условий облучения и стимуляции, что и в примере 1: возбуждение образцов проводили рентгеновским излучением ($U=40$ кВ, $I=40$ мкА, время облучения 1 мин), стимуляцию проводили с помощью светодиода СДК-С469-5-10. В качестве фотоприемника использовали фотоэлектронный умножитель ФЭУ-142. Светосумма составила 204268 о.е., то есть уменьшилась в 7,73 раза по сравнению с первым составом. Уменьшение светосуммы также связано с увеличением концентрации медной добавки.

После облучения образца NaF: 4 мол. % ${}^6\text{LiF}$, 0,3 мол. % CuF_2 тепловыми нейтронами (использовались нейтроны от источника калифорний-252, замедленные до тепловых энергий) до флюенса порядка 10^5 - 10^7 см $^{-2}$, наблюдается ОСЛ на уровне 50000 о.е., что достаточно для уверенной регистрации сигнала.

Примеры 4-6. Рабочее вещество ОСЛ-детектора.

Вырастили по методу Киропулоса кристаллы на основе NaF с добавками (мол.%): LiF 1,0 и CuF_2 0,1 (пример 4); LiF 2,0 и CuF_2 0,1 (пример 5); LiF 4,0 и CuF_2 0,3 (пример 6). При этом использовался реактив LiF с естественной смесью изотопов лития, в

котором изотопы ${}^6\text{Li}$ составляют не более 7,4%. Подготовили образец размерами $10 \times 10 \times 1$ мм и измерили характеристики ОСЛ для следующих условий облучения и стимуляции: возбуждение образцов проводили тепловыми нейтронами (использовались нейтроны от источника калифорний-252, замедленные до тепловых энергий) до флюенса порядка 10^5 - 10^6 см $^{-2}$, стимуляцию проводили с помощью белого светодиода. В качестве фотоприемника использовали фотоэлектронный умножитель ФЭУ-142. Светосумма снизилась до 2000-2500 о.е., что в 60 раз ниже таковой для примера 1 и недостаточно для уверенного приема сигналов.

Анализ примеров 1-6 показывает, что для уверенной регистрации сигналов ОСЛ при работе в смешанных полях ионизирующих излучений в состав рабочих веществ ОСЛ-детекторов должны входить фториды меди в количестве не более 0,3 мол.%, оптимально 0,001 мол.%, а также фторид лития в количестве 1-4 мол.%, причем литий должен входить

в виде изотопа ^6Li .

Технический (эффект) результат. Предложенное рабочее вещество для ОСЛ-детектора состава (мол.%):

35	NaF	95,9-98,99
	$\text{CuCl}_2/\text{CuF}_2$	0,01-0,1
	^6LiF	1-4

обеспечивает регистрацию не только рентгеновского, гамма- и электронного излучения, но и тепловых нейтронов.

Литература

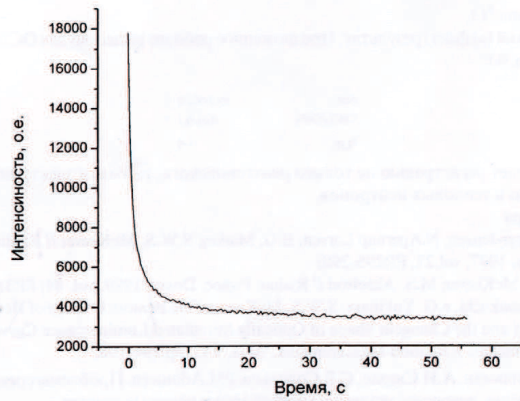
- [1] L. Benner-Jensen, N. Agernap Larsen, B.G. Markey, S.W.S. McKeever // Radiat. Measurements, 1997, vol.27. PP.295-298;
- [2] S.W.S. McKeever, M.S. Akselrod // Radiat. Protec. Dosim. 1999. vol. 84, PP.317-320.
- [3] G.O. Sawakuchi, e.G. Yukihara, S.W.S. McKeever, E.R. Benton. Overlap of Heavy Charged Particle Tracks and the Change in Shape of Optically Stimulated Luminescence Curves of Al_2O_3 :C. Dosimeters. Radiation Measurements, 2008, v.43, pp.194-198.
- [4] И.И. Мильман, А.И. Сюрдо, С.В. Соловьев, Р.М. Абашеев. Проблемы спектроскопии и спектрометрии, вузовско-академический сборник научных трудов, Екатеринбург, УрФУ, 2011, вып.29, с.63-72.
- [5] USA Patent 7009181, S.D. Miller, L.E. Smith, J.R. Scorpice. 03.07.2006.
- [6] Патент 2310889 РФ (МПК G01T 1/11, I/06, 1/29). заявл. 07.08. 2006. опубл. 20.11. 2007. Бюл. №32; И.И. Мильман, С.В. Никифоров, Е.В. Моисейкин, И.Г. Ревков).
- [7] А.С. Вохминцев, Д.М. Спиридонов, Д.В. Чайкин, Н.А. Кравец, И.А. Вайнштейн. / Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Вузовско-академический сборник научных трудов. Екатеринбург, УрФУ. 2012. вып.30, с.12-17).
- [8] L. Albert, O. Roy, S. Magne, L. Dusseau, J.C Bessiere. Optical fiber sensor based on optically stimulated luminescence for γ -radiation detection. 3rd Int.Symp.Luminescent Detectors and Transformers of Ionizing Radiation. LUMDET R'97. Book of Abstracts. Ustron. Poland. 1997, p 1-2.
- [9] А.С. Бекташов, М.М. Кидибаев, Г.С. Денисов, М.И. Власов, И.И. Мильман, Е.В. Моисейкин, А.И. Сюрдо. Оптически стимулированная люминесценция детекторных материалов на основе кристаллов фторида натрия. / Проблемы спектроскопии и спектрометрии. Вузовско-академический сборник научных трудов. Екатеринбург, УрФУ. 2012, вып.31, с. 56-62.

Формула изобретения

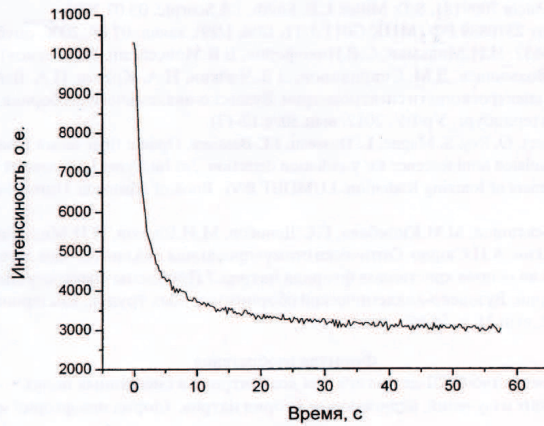
Рабочее вещество ОСЛ-детектора для дозконтроля в смешанных полях ионизирующих излучений, включающее фторид натрия, хлорид или фторид меди,

отличающееся тем, что дополнительно содержит фторид лития ^6LiF при следующем соотношении компонентов (мол.%):

45	NaF	95,9-98,99
	$\text{CuCl}_2/\text{CuF}_2$	0,01-0,1
	^6LiF	1-4



Фиг.2



Фиг.3

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2546716

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ ГЕРМАНИЯ В ЖИЛЕ И
ОБОЛОЧКЕ КРЕМНИЕВЫХ СТЕКЛОВОЛОКОН**

Патентообладатель(и): *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" (RU), Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013142549

Приоритет изобретения 17 сентября 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 04 марта 2015 г.

Срок действия патента истекает 17 сентября 2033 г.



Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013142549/28, 17.09.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.09.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.09.2013

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 4506947A, 26.03.1985. US 4362943A,
07.12.1982. D.A. Bradley et al. Review of doped
silica glass optical fibre, Applied Radiation and
Isotopes, 2012. Vol.71. P.2-11. SU 1742614A1,
23.06.1992. SU 1772614A1, 30.10.1992. SU
1150537A1, 15.04.1985

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
Центр интеллектуальной собственности, Марке
Т.В.

(72) Автор(ы):

ИЩЕНКО Алексей Владимирович (RU),
ЧИСТЯКОВА Евгения Константиновна
(RU),
ШТЫКОВ Александр Николаевич (RU),
ПАЛИМОВ Леонид Николаевич (RU),
МАНЬКО Николай Григорьевич (RU),
ШЕСТАКОВ Геннадий Васильевич (RU),
ВАЙНШТЕЙН Илья Александрович (RU),
ИВАНОВ Владимир Юрьевич (RU),
ЧЕРЕПАНОВ Александр Николаевич (RU),
ШУЛЬГИН Борис Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Уральский
федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина" (RU),
Федеральное государственное унитарное
предприятие "Научно-производственное
объединение автоматики имени академика
Н.А. Семихатова" (RU)(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ
ГЕРМАНИЯ В ЖИЛЕ И ОБОЛОЧКЕ КРЕМНИЕВЫХ СТЕКЛОВОЛОКОН

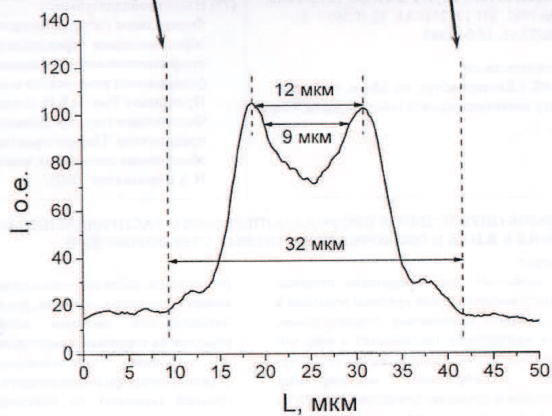
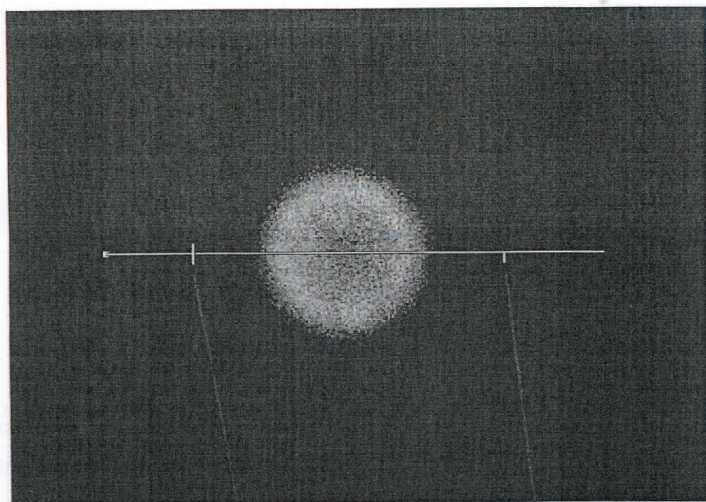
(57) Реферат:

Использование: для определения профиля поперечного распределения примеси германия в жиле и оболочке кремниевых стекловолокон. Сущность изобретения заключается в том, что изготавливают из эпоксидной смолы таблетку-держатель с образцами анализируемых стекловолокон и проводят последующий анализ образцов на растровом электронном микроскопе, при этом образцы анализируемых стекловолокон размещают вертикально в держателе-таблетке из эпоксидной смолы, после чего держатель-таблетку облучают рентгеновским излучением и загружают одновременно с держателем-таблеткой, содержащей эталонные образцы стекловолокон, в рабочую камеру растрового электронного микроскопа с оптическим каналом

регистрации, далее визуальное по виду и размерам концентрических кольцевых, различающихся по интенсивности свечения люминесцирующих участков на торцевых поверхностях тестируемых и эталонных стекловолокон визуальное определяют профиль поперечного распределения примеси германия по поперечному сечению стекловолокна. Технический результат: обеспечение возможности экспрессного, визуального, отвечающего метрологическим требованиям способа определения профиля поперечного распределения примеси германия в центральной жиле и в приграничных, прилегающих к центральной жиле областей оболочки стекловолокон, легированных германием. 2 ил.

RU 2546716 C1

RU 2546716 C1



Фиг. 2

Изобретение относится к измерительной технике, используемой в волоконно-оптических технологиях при тест-контроле качества легированных германием образцов кремниевых волокон, особо при определении профиля распределения примеси германия по поперечному сечению волокон в центральной жиле и в приграничных, прилегающих к центральной жиле областях волокон многоцелевого назначения, при анализе самоорганизующихся физических явлений или с искусственным их поддержанием в волоконно-оптических устройствах и средствах связи, а также в процессе их производства фирмами-изготовителями и проведения заказчиками входного контроля волокон и волоконно-оптических кабелей, приобретаемых у фирм-производителей.

Диффузия примеси германия из жилы в оболочку образцов кремниевых волокон, легированных германием, происходящая при технологических необходимых процедурах термообработки волокон, и распределение продифундировавшей примеси в прилегающих к жиле внутренних слоях оболочки волокон определяют трансмиссионные свойства волокон, их способность передавать/пропускать сигналы на десятки километров с малым затуханием на уровне от нескольких дБ/км до нескольких долей дБ/км (Большой энциклопедический словарь. Физика. Гл. ред. акад. А.М. Прохоров. М.: «Большая Российская энциклопедия», 1998. С.89-90 и 665; Г.Г. Десятых, Е.М. Дианов. Волоконные световоды с малыми оптическими потерями. Вестник АН СССР, 1981. №10. С.54; I.A. Bufetov, M.M. Bubnov, V.N. Neustroev, E.M. Dianov, ... A.M. Prokhorov. Raman Gain Properties of Optical Fibers with a High Ge-Doped Silica Core and Standart Optical Fibers // Laser Physics, 2001. Vol.11, №1. P.130-133).

Поиск эффективных и экспрессных способов контроля качества легированных волокон ведется на протяжении многих лет с использованием возможностей методов оптической, электронной и атомной силовой микроскопии, а также с использованием методов компьютерной томографии.

Известен способ визуального, компьютерного тестирования световодов (В.К. Баранов и др. Патент РФ №2477847. МПК G01M 11/02, G01N 21/88, G02B 6/02, заявл. 27.09. 2011, опубл. 20.03.2013. Бюл. №8). В рамках известного способа контроль качества световода проводят, осуществляя зондирование световода через один из торцов белым светом с последующей регистрацией отраженного первичного белого света от недоступного торца световода (предварительно снабженного цветным отражателем) с помощью фотоприемника с цветной ПЗС-матрицей, а затем визуально по цвету изображения на доступном торце световода, или по параметру цветности этого изображения, определяемого с помощью ПЭВМ, судят о целостности или дефектности световода.

Однако известный способ визуального тестирования не пригоден для экспресс-тестирования световода на основе кремниевых волокон, легированных германием, поскольку он не решает задачи определения профиля распределения примеси германия по поперечному сечению кремниевых волокон и не позволяет при контроле выпускаемой продукции и при входном контроле приобретаемой продукции определять профиль поперечного распределения примеси германия ни в центральной жиле, ни в приграничных, прилегающих к жиле областях волокон. Известный способ имеет недостаточно высокую чувствительность и не является экспрессным, поскольку за одну процедуру тестирования анализируется лишь один образец.

Известен способ визуального тестирования световодов (US патент №3884585, опубл. 20.05.1975. Fiber break detection methods for cables using multi-fiber optical bundles, R.L. Lebduska, G01N 21/16). Способ заключается в том, что зондирующее излучение в виде постоянного по интенсивности белого света вводится во входные торцы большого

числа плотноупакованных световодов, входящих в состав волоконно-оптического кабеля. Выходное сечение волоконно-оптического кабеля, состоящее из большого числа плотно-упакованных выходных торцов световодов и соединяющего их эпоксидного клея, облучалось встречным источником белого света. Регистрировалось проходящее через световоды излучение. Выходной торец волоконно-оптического кабеля наблюдался через микроскоп и фотографировался фотокамерой «Поляроид». Тестирование световодов осуществлялось визуально по цвету изображения.

Однако известный способ визуального тестирования не пригоден для экспресс-тестирования световода на основе кремниевого стекловолокна, легированного германием, поскольку он не решает задачи определения профиля распределения примеси германия по поперечному сечению кремниевого стекловолокна и не позволяет при контроле выпускаемой продукции и при входном контроле приобретаемой продукции определять профиль распределения примеси германия ни в центральной жиле, ни в приграничных, прилегающих к жиле областях стекловолокна. Кроме того, в известном способе за одну процедуру контроля анализируется лишь один образец, что не обеспечивает проведения экспрессного контроля. Известный способ не отвечает метрологическим требованиям проведения экспрессного контроля, особенно при оценке качества волоконно-оптического кабеля, поскольку сравнения с эталонными образцами стекловолокон в рамках известного способа не проводится.

Известно устройство контроля диаметра световодов и оптических волокон (В.Н. Ильин, А.Ф. Рубцов. Авт. свид. СССР №1768962. МПК G01B 11/10. 1990. Заявл. 27.08.90. Опубл. 15.10.92. Бюл. №38). Изобретение предназначено для измерения диаметров прозрачных химических волокон и одножильных световодов. С помощью сложной осветительной системы, включающей лазер ЛГИ-302, светоделиитель, систему зеркал и двух фокусирующих линз, обеспечивается освещение раstra на двух диаметрально противоположных участках сходящимися пучками света для формирования сложной интерференционной картины, анализируемой с помощью двух измерительных каналов контроля и позволяющей судить по величине биений за изменением диаметра световода по его длине.

Однако известный способ визуального тестирования не пригоден для экспресс-тестирования световода на основе кремниевого стекловолокна, легированного германием, поскольку он не решает задачи определения профиля распределения примеси германия по поперечному сечению кремниевого стекловолокна и не позволяет при контроле выпускаемой продукции или при входном контроле приобретаемой продукции определять профиль поперечного распределения примеси германия ни в центральной жиле, ни в приграничных, прилегающих к жиле областях стекловолокна. Известный способ не является экспрессным и не отвечает метрологическим требованиям, поскольку сравнения с эталоном (с эталонными образцами стекловолокон) в рамках известного способа не проводится.

Известен способ наблюдения и анализа диффузии вводимой примеси германия в оптических стекловолокнах в процессе их термообработки (К. Luutikainen et al. Dopant diffusion during optical fibre drawing. Optical Express. 2004. vol.12. №6, pp.972-977). Для осуществления известного способа определения диффузии примесного германия вначале готовились образцы в виде таблеток-держателей, в которых нелегированные кремниевые стекловолокна закреплялись вертикально с помощью полимерной субстанции, очищенные концы анализируемых волокон перед этим предварительно протравливались в 5% растворе HF в течение 2 минут. На торцы кремниевых стекловолокон, имеющих номинальный диаметр 125 мкм, наносилась примесь германия в виде трех

концентрических колец с концентрацией 17, 8 и 4 мол.% германия, отделенных друг от друга на несколько микрон. Затем волокна отжигались при температурах 1800 или 2100°C, соответствующих условиям отжига при изготовлении кремниевых стекловолокон. Далее проводили элементный анализ легированных германием торцов

5 стекловолокон методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием сканирующего электронного микроскопа фирмы Филипс (EDAX+Philips XL30 SEM). Непосредственно профиль поперечного распределения примеси германия, нанесенной в виде трех концентрических колец на торец кремниевое стекловолокна, подвергнутого

10 затем высокотемпературной термообработке, определяли с помощью атомного силового микроскопа (АСМ). С помощью получаемого АСМ-профиля торцевой поверхности стекловолокна установлено, что каждое из концентрических первичных колец с нанесенной примесью германия слегка расплылось вследствие диффузионных процессов, вызванных термообработкой, доказано, что диффузия германия в кремниевых

15 стекловолокнах при выполнении технологических процедур их термообработки имеет место.

Однако известный способ не пригоден для визуального определения профиля распределения примеси германия по поперечному сечению волокна, не обладает достаточной экспрессностью и не отвечает метрологическим требованиям, поскольку в рамках известного способа сравнения с эталонными образцами стекловолокон не

20 проводится; способ не пригоден для контроля выпускаемой стекловолоконной продукции и для входного контроля приобретаемых стекловолокон.

Известно, что в легированных германием кремниевых стекловолокнах, применяемых в системах волоконной связи, после облучения их гамма-излучением происходит светозапасание, реализуемое при нагреве в виде термостимулированной люминесценции

25 (M. Benabdesselam, F. Mady, S. Girard. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2013, v.360, pp.9-12), и что они могут представлять интерес для использования в качестве рабочих веществ для термолуминесцентной дозиметрии. Однако термостимулированная люминесценция легированных германием кремниевых стекловолокон для наглядного визуального определения профиля поперечного распределения примеси германия в жиле и оболочке

30 кремниевых стекловолокон не применялась из-за длительности процедуры нагрева образцов до достаточно высоких температур.

Наиболее близким к заявляемому является способ определения профиля поперечного распределения примеси германия в жиле и оболочке кремниевое стекловолокна, связанный с применением сканирующего (растрового) электронного микроскопа,

35 снабженного рентгенофлуоресцентным анализатором (D. A. Bradley et al. *Review of doped silica glass optical fibre* // *Applied Radiation and Isotopes*, 2012. Vol.71. P.2-11). В рамках известного способа вначале изготавливают полимерную таблетку-держатель стекловолокон, в которой устанавливают/закрепляют кусочки телекоммуникационного кремниевое стекловолокна, легированного германием (стекловолокно фирмы Cor-

40 Active High Tech., Canada). Кусочки стекловолокна закрепляют так, что на рабочую поверхность таблетки-держателя выходят торцы стекловолокон. Далее таблетку-держатель с образцами стекловолокон устанавливают в рабочей камере сканирующего электронного микроскопа, проводят наблюдение (face-on examined) торцов стекловолокон, определяют характерный для одномодовых стекловолокон размер

45 центральной жилы волокна (9-10 мкм), содержащей основное количество примеси германия, и размер оболочки стекловолокна (125 мкм), в которой обнаруживаются следы примеси германия.

Однако известный способ с использованием растрового микроскопа не пригоден

для наглядного быстрого визуального контроля распределения примеси германия в центральной жиле и в приграничной к ней зоне диффузии примеси германия, поскольку не имеет оптического канала наблюдения. Известный способ не решает задачи визуального определения профиля поперечного распределения примеси германия по сечению кремниевых стекловолокон ни в центральной жиле волокон, ни в приграничных, прилегающих к жиле областях волокон. Кроме того, известный способ не дает возможности провести сравнение стекловолокон, поступающих для анализа, с эталонными образцами стекловолокон.

Задачей изобретения является разработка экспрессного, визуального, отвечающего метрологическим требованиям способа определения профиля поперечного распределения примеси германия в центральной жиле и в приграничных, прилегающих к центральной жиле областях оболочки стекловолокон, легированных германием.

Задача изобретения, связанная с разработкой экспрессного, визуального, отвечающего метрологическим требованиям способа определения профиля поперечного распределения примеси германия в жиле и оболочке кремниевых стекловолокон, решается за счет того, что образцы различных анализируемых стекловолокон размещают вертикально в держателе-таблетке из эпоксидной смолы, облучают торцы стекловолокон рентгеновским излучением (для обеспечения в них процесса светозапасания и накопления светосуммы), после чего таблетку с анализируемыми образцами загружают одновременно с держателем-таблеткой с эталонными образцами стекловолокон в рабочую камеру растрового электронного микроскопа, имеющего оптический канал регистрации, и далее визуальное по виду и размерам концентрических кольцевых, различающихся по размерам и интенсивности свечения люминесцирующих участков на торцевых поверхностях тестируемых образцов стекловолокон, содержащих примесь германия, определяют профиль поперечного распределения примеси германия по сечению волокна и сравнивают с эталонными образцами.

Сущность изобретения заключается в том, что образцы различных анализируемых стекловолокон (одного или одновременно нескольких до 40 и более различных типов и более) длиной 5-10 мм и более размещают вертикально в держателе-таблетке из эпоксидной смолы толщиной 10-15 мм и более, после завершения процесса полимеризации смолы облучают рентгеновским излучением торцы стекловолокон для обеспечения в них процесса светозапасания и накопления светосуммы, после чего загружают одновременно с держателем-таблеткой, содержащей эталонные образцы стекловолокон, в рабочую камеру растрового электронного микроскопа, имеющего оптический канал регистрации, и далее визуальное по виду и размерам концентрических кольцевых, различающихся по интенсивности свечения люминесцирующих участков (люминесценция возникает под действием электронного пучка микроскопа) на торцевых поверхностях тестируемых стекловолокон (с увеличенной интенсивностью за счет одновременно высвечиваемой запасенной светосуммы - оптически стимулированной люминесценции), содержащих примесь германия, визуальное определяют профиль поперечного распределения примеси германия по сечению стекловолокна с выводом картины профиля на экран компьютера при одновременном определении содержания примеси в анализируемых образцах в контрольных точках методом рентгенофлуоресцентного анализа. Далее проводят сравнение с эталонными образцами, которые были загружены в камеру электронного микроскопа одновременно с анализируемыми образцами. При контроле качества волоконно-оптического кабеля в число одновременно анализируемых образцов включают все волокна данного кабеля.

Примеры осуществления способа определения профиля поперечного распределения

примеси германия в жиле и оболочке кремниевых стекловолокон.

Пример 1. Осуществление предлагаемого экспрессного, визуального, отвечающего метрологическим требованиям способа определения профиля поперечного распределения примеси германия в жиле и оболочке кремниевых стекловолокон рассмотрено на примере анализа образцов стекловолокон фирмы Фуджикюра, Япония (Fujikura, Fujikura Specification for single-mode optical fiber, Date Jan. 25, 2011, NO JFS-00073A), один из которых принимается за эталонный. Кусочки стекловолокон фирмы Фуджикюра (2 волокна один эталонный) закрепляют в таблетке-держателе из эпоксидной смолы так, чтобы на рабочую поверхность таблетки-держателя выходили торцы этих стекловолокон. Торцы шлифуют. Далее таблетку-держатель с образцами стекловолокон после завершения процесса полимеризации смолы облучают рентгеновским излучением (в течение 20-30 минут) для запасаения светосуммы. Для облучения используют рентгеновский аппарат UPC-55A (30 кэВ, 10 мкА при мощности дозы $2,5 \cdot 10^3$ Р/мин). Затем облученную таблетку-держатель устанавливают в рабочей камере электронного микроскопа фирмы Carl Zeiss Sigma VP, имеющего оптический канал.

В электронном микроскопе выводят на экран компьютера изображение торцевой поверхности анализируемого/эталонного волокна, которое затем анализируется с применением катодолуминесцентного оптического канала микроскопа в интегральном режиме в диапазоне длин волн 185-850 нм.

Ниже приведены картины свечения торцов двух используемых в примере эталонного, Фиг.1, и анализируемого, Фиг.2, стекловолокон фирмы Фуджикюра. Визуально наблюдается неоднородное свечение эталонного, Фиг.1, и анализируемого стекловолокон (верхняя картинка на Фиг.2) с тремя концентрическими люминесцирующими зонами. Наблюдаемые кривые распределения интенсивности свечения характеризуют распределение примеси германия по поперечному сечению образцов. На Фиг.2 это представлено в увеличенном виде для центральной части стекловолокон диаметром ~32 мкм. Зона свечения центральной жилы диаметром 9 мкм с повышенным содержанием примеси германия, около 3,6-3,8 мол.%, как показал рентгенофлуоресцентный анализ этой зоны, не является доминирующей по интенсивности (ее интенсивность всего 70-90 о.е.) вследствие эффекта концентрационного тушения люминесценции. Наиболее интенсивной (~100 о.е.) является ближайшая к жиле концентрическая кольцевая люминесцирующая полоска шириной до 5 мкм с содержанием в контрольной точке этой полоске-зоне наноструктурированной примеси германия до ~0,6 мол.%. Третья слабосветящаяся широкая кольцевая зона имеет более слабую интенсивность люминесценции (~25-40 о.е.). Эта крайняя зона с неоднородным содержанием продиффундирующей примеси германия на уровне, как показал рентгенофлуоресцентный анализ одной из контрольных точек этой зоны, до 0,008 мол.%.

Пример 2. Кусочки стекловолокон фирмы Фуджикюра закрепляют в таблетке-держателе из эпоксидной смолы так, чтобы на рабочую поверхность таблетки-держателя выходили торцы анализируемых стекловолокон. Их шлифуют. Далее, минуя процедуру облучения таблетки-держателя с анализируемыми стекловолоконками рентгеновским излучением, таблетку-держатель с образцами стекловолокон сразу устанавливают в рабочей камере электронного микроскопа, например, микроскопа фирмы Carl Zeiss Sigma VP, имеющего оптический канал. На экране микроскопа получают картину распределения примеси германия в жиле и оболочке стекловолокон, аналогичную приведенной на Фиг.1 и Фиг.2, однако интенсивность свечения почти в полтора раза ниже интенсивности свечения, чем в Примере 1, из-за отсутствия компоненты оптически

стимулированной люминесценции.

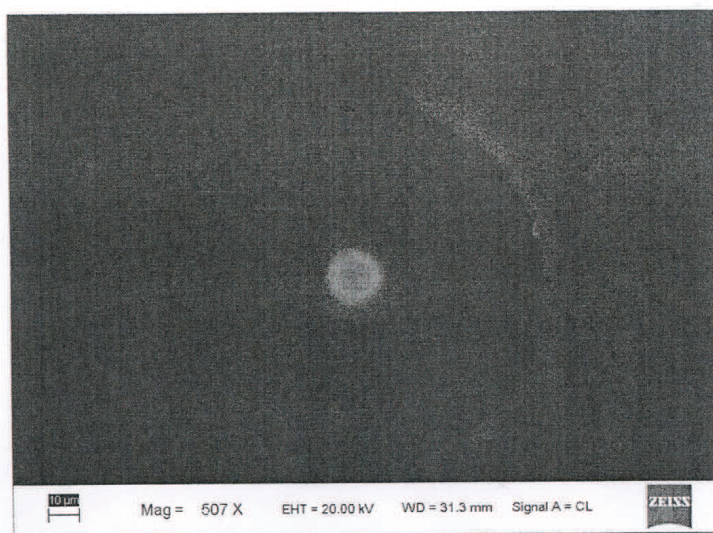
Примеры 3, 4. Подготовку к анализу поступивших образцов германий-кремниевых стекловолокон диаметром 125 мкм проводят так же, как и в примере 1. Кусочки
одножильных стекловолокон, а в случае контроля качества волоконно-оптического
кабеля кусочки всех стекловолокон кабеля закрепляют в таблетке-держателе из
эпоксидной смолы. Далее таблетку-держатель с образцами стекловолокон после
завершения процесса полимеризации смолы облучают в течение 1 часа рентгеновским
излучением для запасаения светосуммы, после чего ее устанавливают в рабочей камере
растрового электронного микроскопа фирмы Carl Zeiss Sigma VP, имеющего оптический
канал. В электронном микроскопе сначала получают с выводом на экран компьютера
изображение поверхности каждого из торцов волокон (анализируемых и эталонных),
далее изображение этих участков анализируется с помощью катодолуминесцентного
оптического канала микроскопа в интегральном режиме в диапазоне длин волн 185-
850 нм, так же, как в примерах 1 и 2, визуальное и с выводом кривой распределения
интенсивности свечения на экран, что обеспечивает экспрессность метода. Для каждого
из волокон характерно неоднородное свечение по их поперечному сечению с хорошо
выраженными тремя зонами свечения, различающимися по интенсивности,
соответствующих зонам с различной концентрацией примеси германия. Содержание
германия определяют одновременно в нужных точках сечения волокна путем измерений
элементного состава образцов рентгенофлуоресцентным методом. Узкая кольцевая
зона с повышенным уровнем люминесценции связана с наноструктурированной
примесной зоной германия. В ней заметны неоднородности. Увеличение времени
облучения образцов до 1 часа и более не приводит к улучшению технического эффекта.

Технический результат. Повышенная интенсивность свечения при визуализации
профиля распределения примеси германия по поперечному сечению стекловолокна с
выделением зон неоднородной диффузии германия на границе между центральной
 жилой и оболочкой, увеличение чувствительности и производительности метода
особенно при выходном и входном контроле многожильных волоконно-оптических
кабелей.

Формула изобретения

Способ определения профиля поперечного распределения примеси германия в жиле
и оболочке кремниевых стекловолокон, включающий процедуру изготовления из
эпоксидной смолы таблетки-держателя с образцами анализируемых стекловолокон и
последующий анализ образцов на растровом электронном микроскопе, отличающийся
тем, что образцы анализируемых стекловолокон размещают вертикально в держателе-
таблетке из эпоксидной смолы, после чего держатель-таблетку облучают рентгеновским
излучением и загружают одновременно с держателем-таблеткой, содержащей эталонные
образцы стекловолокон, в рабочую камеру растрового электронного микроскопа с
оптическим каналом регистрации, далее визуальное по виду и размерам концентрических
кольцевых, различающихся по интенсивности свечения люминесцирующих участков
на торцевых поверхностях тестируемых и эталонных стекловолокон визуальное
определяют профиль поперечного распределения примеси германия по поперечному
сечению стекловолокна.

RU 2546716 C1



Фиг. 1

Справочное издание

**ДЕТЕКТОРНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА**
ПАТЕНТНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Справочник

Выпуск 2

*Б. В. Шульгин, Л. В. Викторов, В. Ю. Иванов, В. Л. Петров,
А. Н. Черепанов, А. В. Ищенко, В.А. Семенкин*

Компьютерная верстка *А.Н.Черепанова*

Под редакцией
профессора В.С.Кортова

Подписано в печать 14.05. 2015. Формат 60×84 ¹/₁₆

Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 40,3

Уч.- изд. Л. 59,7. Тираж 50 экз. Заказ 5361

ООО «Издательство УМЦ УПИ»
620002, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35 а, оф.2